

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ ТА ПРИСТРОЇВ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З КУРСУ “ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ
ЕЛЕКТРОНІКИ”**

для студентів спеціальності
“Електронні прилади та пристрої”
всіх форм навчання

Ухвалено методичною
комісією факультету (інституту)
Факультету електроніки
(назва факультету, інституту)

Протокол №01/13 від 28 січня 2013 р.

Голова методичної комісії

(підпис) (ініціали, прізвище)

Програму рекомендовано кафедрою
Кафедра електронних приладів та
пристроїв
(назва кафедри)

Протокол № від « » 2012 р.
(протокол №, дата)

Завідувач кафедри

(підпис) Писаренко Л.Д.
(ініціали, прізвище)

Київ – 2013

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу “Технологічні основи електроніки” для студентів спеціальності «Електронні прилади та пристрої» / Уклад.: А.І. Кузьмичев, С.Б. Сидоренко, О.М. Бевза –К.: НТУУ «КПІ», 2013. – 53 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з курсу
“Технологічні основи електроніки”

Укладачі: А.І. Кузьмичев, , канд. техн. наук, доц, С.Б. Сидоренко, інж,
О.М. Бевза, ас.

Відповідальний
за випуск А.І. Кузьмичев, канд. техн. наук, доц.

Рецензенти: Л.М. Шмирева, канд. техн. наук, доц.

ЗМІСТ

Лабораторна робота № 1 ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ.....	4
Лабораторна робота № 2 ПАЙКА ЯК МЕТОД З'ЄДНАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ	10
Лабораторна робота № 3 ОЗНАЙОМЛЕННЯ З КОНСТРУКЦІЯМИ КОРПУСІВ, ЗОВНІШНІХ ОБОЛОНОК ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ.....	22
Лабораторна робота № 4 ОКИСЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПЛАЗМІ НВЧ РОЗРЯДУ	30
Лабораторна робота № 5 ВИВЧЕННЯ МАГНЕТРОННИХ РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК	42

Лабораторна робота № 1

ЕЛЕКТРОКОНТАКТНЕ ЗВАРЮВАННЯ

Мета роботи: Вивчення точкового електроконтактного зварювання, освоєння зварювального апарата, відпрацювання оптимальних режимів зварювання різних комбінацій з'єднання металів і вивчення причин дефектів зварювання.

Короткі теоретичні відомості

Електроконтактне зварювання металів, як спосіб з'єднання деталей, широко застосовується у виробництві електронних і газорозрядних приладів. **Електроконтактне зварювання** - це спосіб з'єднання металевих деталей, при якому деталі нагріваються шляхом проходження через них електричного струму з одночасним прикладенням механічного зусилля стискання деталей. Підведення електричного струму і механічного зусилля стискання до місця з'єднання здійснюється за допомогою спеціальних зварювальних електродів. Електроконтактне зварювання базується на використанні теплової дії електричного струму, тобто на законі Джоуля-Ленца:

$$Q=0,24I^2R_k t$$

Q - кількість тепла, у кал., що виділяється при проходженні електричного струму силою I [А] через опір контакту R_k , в омах, за час t , у сек.

Найбільша кількість теплоти виділяється в місці контакту двох металевих деталей, що викликає місцеве розплавлення контакту, утворюючи так зване зварювальне ядро.

Якість з'єднання, що отримана електроконтактним зварюванням, визначається, в основному, формою, розмірами, розташуванням зварювального ядра в місці з'єднання. Утворення зварювального ядра залежить як від параметрів зварювання (сила струму, час зварювання, зусилля стискання), так і від роду металів, співвідношення товщин деталей, що з'єднуються, якості очищення поверхонь від окисних і жиркових забруднень, матеріалу і форми зварювальних електродів.

При застосуванні для електроконтактного зварювання уніполярних імпульсів (випадок, що найчастіше зустрічається), на розташування ядра зварної точки істотний вплив може справляти також напрямок зварювального струму, що базується на ефекті Пельтьє. Сутність цього явища полягає в наступному: середня енергія вільних електронів у кожному металі різна. Якщо напрямок струму такий, що через контакт переміщуються електрони з металу, у якому їхня енергія відносно більша, то в місці контакту електрони віддають надлишок своєї енергії ядрам кристалічної решітки. Якщо змінити напрямок зварювального струму на зворотний, електрони будуть відбирати частину енергії. Отже, теплота Пельтьє буде додаватися або відніматися до теплоти Джоуля-Ленца, і в результаті ядро може зміститися до одного зі зварювальних електродів. Ефект Пельтьє помітний при зварюванні Ni - Cu, Ni - платиніт, Ni - W.

Теплота Пельтьє враховується по формулі:

$$Q_{пт} = \pm \Pi It$$

$Q_{пт}$ – теплота ефекту Пельтьє; Π – коефіцієнт Пельтьє, у мВ; I - зварювальний струм, в амперах; t – час зварювання, у сек.

Коефіцієнт Пельтьє визначається зі співвідношення:

$$P = \alpha \cdot T_{ab}$$

α – коефіцієнт термо-ЕРС при температурі T_{ab} границі різнорідних металів. Коефіцієнт Пельтьє, наприклад, при зварюванні Ni — Cu дорівнює 41,4 мВ.

При зварюванні різнотовщинних металів внаслідок неоднакової інтенсивності виділення і відводу тепла в тонкій і товстій деталях, зварювальне ядро розташовується несиметрично відносно площини поділу поверхонь деталей. Тонка деталь охолоджується інтенсивніше, швидше товстої, і зварювальне ядро зміщується вбік більш нагрітої товстої деталі. При співвідношенні товщин зварюваних деталей більш ніж 1:3 проплавляється тільки товста деталь, і надійного з'єднання не утворюється. Тому, електроконтактне зварювання із співвідношенням товщин більш ніж 1/3 не проводять. Це явище можна трохи послабити шляхом відповідного вибору форми і матеріалу зварювального електрода, що контактує з тонкою деталлю. Вибирається матеріал електрода з меншою теплопровідністю і меншою контактною і загальною поверхнею.

Міцність зварних з'єднань різнорідних металів різна і залежить від фізичних, електричних і хімічних властивостей металів, що з'єднуються. Здатність металів утворювати міцні з'єднання методом електроконтактного зварювання називається зварюваністю металів.

Найкращою зварюваністю відзначаються метали, що володіють наступними властивостями :

- досить високим питомим опором;
- незначною теплопровідністю;
- високою і стабільною пластичністю при температурі зварювання;
- незначною зміною структури при нагріванні до температури зварювання й охолодженні до кімнатної температури;
- високою хімічною стійкістю до газів при температурі зварювання.

До металів, що добре зварюються, відносять: нікель, залізо і їхні сплави, а також титан, цирконій і сплави ковар, ніхром. До металів, що важко зварюються, відносять: срібло, алюміній, мідь, вольфрам і молібден.

Наявність жирових і окисних забруднень на поверхні деталей значно ускладнює процес електроконтактного зварювання (різко збільшує опір контакту), тому деталі перед зварюванням необхідно ретельно очистити від зазначених забруднень.

У процесі електроконтактного зварювання відбувається деяке окислення поверхні деталей. Для захисту від окислення, зварювання багатьох металів проводять у захищеному середовищі: вакуумі, аргоні, азоті, суміші азоту з воднем, у парах спирту або дистильованій воді.

Форма зварювальних електродів повинна бути зручна для виконання зварювання. Як матеріал для зварювальних електродів широко застосовується безокисна мідь, сплави міді, що містять берилій, хром, кадмій, сплав міді з вольфрамом і вольфрамом, оплавленим міддю. Робоча поверхня електродів періодично повинна проходити зачищення або шліфування. Вважається, що зварювання виконане якісно, якщо отримано нормальну зварну точку, що повинна бути майже рівна площі стикання робочої поверхні зварювального електрода з деталлю, а глибина ум'ятини від електрода не перевищувати 10% товщини однієї деталі.

Якщо при зварюванні мідними електродами деталі, що зварюються, легко прилипають до електродів і залишають сліди міді на деталях, то між електродами і деталлю варто помістити інший метал, до якого деталь не прилипає. Наприклад, при зварюванні танталу використовується тонка молібденова пластина, що поміщається між електродом і танталовою деталлю. У випадку зварювання товстого дроту з тонким спочатку потрібно обгорнути місце їхнього контакту тонкою нікелевою фольгою, а потім уже проводити зварювання. Зварювання деталей з металів, що важко зварюються (вольфрам, молібден і ін.), здійснити легше, якщо між ними прокласти тонку фольгу з металу, з яким вони добре зварюються, наприклад, між молібденовими деталями застосовують прокладку з нікелевої фольги.

Шов, отриманий електроконтактним зварюванням, вважається якісним, якщо він досить механічно міцний, не має виплесків, пропалів, тріщин, деталі не окислені і не деформовані. Якість зварювання залежить від уже розглянутих факторів і оптимальності режиму зварювання. Режим зварювання підбирається експериментально з подальшим випробуванням шва на розрив. Якщо розрив проходить по основному металу або біля шва, то такий режим зварювання вважають оптимальним.

Електроконтактне зварювання проводиться великими величинами сили струму при малій напрузі (4÷6 В). Перед проходженням струму до деталей прикладається зусилля стискання.

Величина зусилля стискання визначає контактний опір R_k і повинна підтримуватися постійною в процесі зварювання. При певних величинах струму і часу зварювання, необхідна оптимальна величина зусилля стискання зварювальними електродами для забезпечення якісного зварювання. При занадто малому натискові (недостатній контакт) спостерігається іскріння, пропалювання місць зварювання, а іноді і виплеск матеріалу електродів. Якщо ж натиск електродів надто великий, то зменшується контактний опір, кількість тепла, що виділяється в місці зварювання, стає недостатньою і міцність місця зварювання виходить заниженою.

Якість зварювання також залежить від часу зварювання. При надто тривалому зварюванні, деталі, що зварюються, жолобляться (деформуються) або перепалюються, а при дуже короткочасному - зварна ділянка виходить недостатньо міцною.

Сила струму при зварюванні встановлюється в залежності від тієї кількості тепла, яку необхідно виділити в контакті для утворення розплавленого ядра певних розмірів. Перевищення сили струму вище оптимальної для даних товщин і роду матеріалів приводить до перегріву і виплеску металу із зварного ядра. При зниженій силі струму кількість тепла буде недостатньою для утворення зварного ядра потрібних розмірів, міцність з'єднання буде недостатньою ("непровар").

Дефекти зварювання: пропали, виплески, деформації, непровар, усуваються правильним добором режиму зварювання, якісного очищення деталей і формою зварювальних електродів.

Сучасні апарати електроконтактного зварювання дозволяють регулювати в широких межах параметри зварювання: силу струму, час зварювання і тиск. Для забезпечення якісного зварювання в сучасних апаратах застосовуються різні зварювальні цикли:

- зварювання змінним струмом промислової частоти;
- зварювання при розряді батареї конденсаторів, так зване конденсаторне зварювання;
- зварювання одним півперіодом струму промислової частоти;
- зварювання послідовними імпульсами рівної величини (імпульсне зварювання);
- зварювання ступеневим циклом шляхом ряду імпульсів, що називають підігрівними (значення струму 50% від зварювального) і одним зварювальним імпульсом великої величини;
- зварювання із зростаючою амплітудою змінного струму;
- зварювання модульованим циклом (нагрів – зварювання – охолодження). Нагрів виконують модульованими наростаючими імпульсами, зварювання одним періодом струму промислової частоти, охолодження при поступовому спаді струму.

Апарати електроконтактного зварювання, що використовуються в промисловості, відрізняються не тільки схемою зварювального циклу, але і потужністю зварювання (конденсаторне зварювання, тиратронне і ігнітронне та ін.).

В залежності від форми і конструкції шва електроконтактне зварювання може бути чотирьох видів: точкове, роликове, стикове і поверхневе. При точковому зварюванні шов виконується у вигляді послідовних зварних точок, при роликовому – шов є суцільною лінією зварних точок, при стиковому - шов виконується у вигляді однієї зварної точки в стику двох дротів або прутиків. Сутність поверхневого зварювання, запропонованого Ігнатьєвим,

полягає в тому, що струм пропускається паралельно поверхні деталей, що з'єднуються. Найбільш поширеним у виробництві електронних приладів є точкове електроконтактне зварювання. Найбільші труднощі представляє зварювання тонких дротів. Як установив Кіфер, зварювання тонких дротів діаметром менш ніж 1,5 мм із тугоплавких матеріалів може успішно здійснюватися в тих випадках, коли співвідношення їхніх діаметрів відповідає наступній умові:

$$\frac{d_1}{d_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sqrt[3]{\frac{T_{1\text{пл}}^2}{T_{2\text{пл}}^2}}$$

d_1 і d_2 – діаметри дротів, у мм.; λ_1 і λ_2 – теплопровідність матеріалів дротів; $T_{1\text{пл}}$ і $T_{2\text{пл}}$ – температура плавлення, у °С. Ця формула справедлива при часі зварювання 0,01...0,02 сек.

Опис зварювального апарата

Конструкція й електрична схема апарата забезпечує зварювання імпульсами розрядного струму конденсаторної батареї. У апараті передбачені три варіанти притискання деталі під час зварювання: за допомогою механізму, керованого педалью, ручного однополюсного інструмента і ручного двополюсного інструмента типу "Пінцет". Механізм стискання деталей, що зварюються, забезпечує постійність і широкий діапазон регулювання зусилля стискання. Ручні інструменти забезпечують стискання зусиллям руки оператора. Подача імпульсу на електроди здійснюється при натисканні на педаль. При цьому конденсаторна батарея розряджається через тиратрон на понижуючий трансформатор, до другої обмотки якого підключені електроди.

Товщина деталей, що зварюються, (по нікелю) :

Найбільша – 1,5 мм;

Найменша – 0,1 мм;

Зусилля стискання деталей, що зварюються – 0÷20 кг;

Число ступенів регулювання ємностей конденсаторної батареї – 7;

Тривалість імпульсу струму конденсаторного зварювання – 0,005÷0,01 сек.;

Номінальна потужність апарата – 5 кВА.

Послідовність проведення роботи

1. Включити апарат електроконтактного зварювання:
 - Перед ввімкненням перемикачі апарата повинні знаходитись у вимкненому положенні.
 - Увімкнути тумблер „Мережа”.

Перемикачем встановити необхідну величину ємності конденсаторної батареї (50, 100, 150, 200, 300, 400 або 600 мкФ).

 - Помістити зварювані деталі між плиток і зварювальним електродом.
 - Виконати зварювання деталей, натиснувши педаль до упору. При цьому автоматично відбувається цикл зварювання. При одному натисканні на педаль можливе лише однократне протікання зварного циклу.
2. Відпрацювати режим електроконтактного точкового зварювання трьома зварювальними циклами наступні сполучення профілів металів:
 - а) молібденових дротів з нікелевими дробами;
 - б) стрічок з молібдену з дробом із нікелю;
 - в) вольфрамових дротів з нікелевими стрічками;
 - г) дротів із нікелю;
 - д) ніхромових дротів з стрічками з молібдену, вольфраму і нікелю;

- с) молібденових і вольфрамових дротів один з одним і через нікелеві прокладки;
ж) стрічки з алюмованого заліза і нікелю з вольфрамом, молібденом і ніхромом різних профілів.

3. Режимом зварювання різних металів оформити у вигляді таблиці, де вказати матеріали, що зварюються, ємність, потужність зварювання й оцінку якості зварювання. Для матеріалів, що добре зварюються, треба досягти якісного з'єднання, при цьому всі невдалі експерименти також обов'язково заносяться в протокол.

4. Методом відриву за допомогою пінцета оцінити якість електроконтактного зварювання різних металів.

5. Вимкнути апарат тумблером „Мережа”.

Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.

Вимоги до звіту

Звіт до лабораторної роботи повинен містити результати відпрацювання режимів зварювання різних комбінацій з'єднань металічних матеріалів по таблиці №1. Пояснення дефектів, що виникли, і результатів зварювання.

Увага! Табличні данні, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.

Табл. №1

№	З'єднання	Коефіцієнт трансформації	Ємність	Потужність	Результат експерименту
1	Fe–Fe	1. 2. 3. 4.	1. 2. 3. 4.	1. 2. 3. 4.	виплеск пропал деформація непровар якісне з'єднання
2	Fe–Al				
3	Cu–Cu				
4	Cu–Ni				
5	Cu–Mo				
6	Cu–Fe				
7	Cu–Al				
8	Ni–Ni				
9	Ni–Mo				
10	Ni–Fe				
11	Ni–Al				
12	Mo–Mo				
13	Mo–Fe				
14	Mo–Al				
15	Al–Al				

Контрольні запитання

1. Що таке електроконтактне зварювання?

2. Види електроконтактного зварювання.
3. Переваги і недоліки електроконтактного зварювання.
4. Параметри електроконтактного зварювання.
5. Вплив сили струму на якість зварювання.
6. Вплив часу зварювання на якість шва.
7. Вплив зусилля стискання на якість зварювання.
8. Зварюваність матеріалів.
9. Особливості зварювання тугоплавких металів.
10. Захист місця зварювання від окислення.
11. Особливості зварювання різнотовщинних металів.
12. Ефект Пельтьє та його роль.
13. Особливості зварювання тонких дротів.
14. Матеріали для зварних електродів.
15. Види зварювальних циклів.
16. Фактори, що визначають величину і положення зварного ядра, при електроконтактному зварюванні.
17. Роль ступеня очистки металів в якості їх зварювання.
18. Дефекти зварювання та їх види.
19. Дефекти зварювання та їх причини.
20. Перелік важко зварюваних електроконтактним зварюванням металів.
21. електроконтактна пайка, її особливості і переваги.
22. Контроль якості з'єднань, отриманих методом електроконтактного зварювання.

Лабораторна робота № 2

ПАЙКА ЯК МЕТОД З'ЄДНАННЯ КОМПОНЕНТІВ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИСТРОЇВ

Мета роботи: ознайомлення з технологією пайки електронних компонентів і матеріалами, що використовуються для пайки та придбання практичних навичок лудіння і пайки.

Короткі теоретичні відомості

Монтаж - установка виробу або його складових частин на місце використання.

Електромонтаж - виконання електричного з'єднання ЕРЕ (електрорадіоелементи) або його складових частин, що мають струмопровідні елементи.

У процесі електромонтажу при з'єднанні електричних ланцюгів або підключення до них електрорадіоелементів (транзисторів, ламп, резисторів, конденсаторів, реле, вимикачів, тумблерів, запобіжників тощо), для отримання контактного з'єднання найчастіше застосовують пайку.

Пайка – це технологічна операція, що застосовується для отримання нероз'ємного з'єднання деталей з різних матеріалів шляхом введення між цими деталями розплавленого матеріалу (припою), що має більш низьку температуру плавлення, ніж матеріал (матеріали) деталей, що з'єднуються. При цьому припій змочує деталі з'єднання, затікає в проміжок та заповнює його з подальшою кристалізацією створюючи міжатомні зв'язки.

Лудіння – утворення на поверхні матеріалу металевого шару шляхом плавлення припою, змочування припоєм поверхні з наступною його кристалізацією

Припій - матеріал для пайки і лудіння з температурою плавлення нижче температури плавлення паяних матеріалів.

Sn63 Pb37. Класичний олов'яно-свинцевий сплав для електроніки, що містить 63% олова та 37% свинцю. Придатний для ручного та автоматизованого монтажу, характеризується підвищеною міцністю пайки.

Sn60 Pb38 Sn2. Олов'яно-свинцевий сплав 60/38 з добавкою (присадкою) 2% міді, утворює паяні з'єднання на міді підвищеної надійності. Дуже прийнятний для експлуатації при мінусових температурах, для пайки мідних не залужених контактів та дротів.

Sn60Pb38Ag2. Олов'яно-свинцевий сплав 60/38 із присадкою 2% срібла Високочистий припій призначений для пайки посріблених, срібломістких та позолочених контактів, для пайки срібла на кераміці.

Головний недолік олов'яно-свинцевих припоїв - наявність токсичного свинцю.

Безсвинцеві технології

27 січня 2003 введена в дію директива 2002/96/ЕС Європейського парламенту та Ради щодо відходів електричного й електронного обладнання (WEEE). Сучасна радіоелектронна промисловість встала перед фактом організації збору і видалення відходів, що мають у своєму складі важкі метали і вогнезахисні складові. Для успішного вирішення цієї проблеми однією з необхідних умов є перехід на безсвинцеві технології виготовлення електронного обладнання - технології із застосуванням матеріалів, які не містять свинець.

Із 1 січня 2006 року всі електротехнічні і електронні вироби, що поставляються в Європу не повинні мати свинцю та деяких інших шкідливих речовин.

Для електронної промисловості найбільш прийнятний припій для заміни традиційних сплавів Sn63 Pb 37 і Sn62 Pb36 Ag2 - Sn95 5Ag3Cu0,5, придатний для пайки оплавленням (тобто в пасті) і для пайки хвилюю. Наявність міді перешкоджає утворенню інтерметалідів.

Припай Sn96,5 Ag3,5. Сплав, що має найвищу міцність серед безсвинцевих композицій, нетоксичний, використовується в електроніці й у медицині, а також при пайці виробів, що контактують з їжею. Придатний для пайки сталі.

Sn96,5 Ag3 Cu0,5. Найуніверсальніший безсвинцевий припай з відносно низькою температурою плавлення та поліпшеними характеристиками змочуванням.

Sn99 Си1. Сплав для ручної пайки та паяльних ванн (але має вищу температуру плавлення ніж Sn96,5 Ag3 Си0,5), є економічною альтернативою традиційним олов'яно-свинцевим припаям.

У табл. 1 наведені найбільш часто застосовувані при електромонтажу припої.

Пайка можлива тільки в тому випадку, якщо припій змочує з'єднувані деталі. Змочування являє собою молекулярну взаємодію рідини з поверхнею твердого тіла. Вона відбувається, якщо сили притягання між атомами припою і металу більше, ніж між атомами всередині самого припою. Якщо крапля припою не змочує поверхню, то вона має приблизно сферичну форму (рис. 1а). Сила зчеплення припою з поверхнею деталі в цьому випадку дуже мала, і крапля припою легко струшується, не залишаючи слідів на поверхні. При змочуванні крапля припою того ж обсягу має велику поверхню зчеплення з поверхнею деталі (рис.1б, в, г); сила її зчеплення значна, і припій не можна повністю видалити струшуванням.

Важливими властивостями припою є також розтікання і здатність затікати у вузькі проміжки під дією капілярних сил.

Затікання припою в проміжок - заповнення розплавленим припоєм паяного проміжку.

При наявності забруднень на з'єднуваних поверхнях розтікання припою погіршується і можливе утворення не змочуваних зон, що знижує якість пайки.

Табл. 1

Найменування і марка припою	Температура плавлення, ° С	Область застосування
Олов'яно-свинцевий ПОС18	277	Пайка деталей невідповідального призначення із сталі, міді, латуні
Олов'яно-свинцевий ПОС40	235	Лудіння і паяння монтажних деталей, дрітків
Олов'яно-свинцевий ПОС61	190	Відповідальна електромонтажна пайка. Для вторинних пайок, розташованих поряд з пайками, виконаними більш тугоплавкими припоями
Олов'яно-свинцево-кадмієвий ПОСК50	145	Пайка і лудіння відповідальних з'єднань, що не допускають місцевого перегріву (деталі з кераміки, скла і т.д., покриті сріблом)
Сплав Розе (олово, свинець, вісмут)	94	Застосовується в тих випадках, коли потрібно зниження температури пайки через небезпеку перегріву деталей, а також для вторинних пайок
Сплав Вуда (олово, свинець, вісмут, кадмій)	60,5	

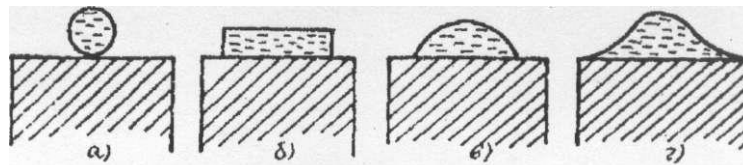


Рис. 1. Змочуваність поверхні металу: а) відсутність змочуваності; б) повне змочування; в) часткове змочування; г) гарне змочування

Підготовка поверхонь деталей, що підлягають пайці, полягає у видаленні забруднень, іржі, окисних і жирових плівок. На змочуваність і розтікання припою істотно впливає форма шорсткостей (неоднорідностей) поверхні. Якщо нерівності утворюють мережу пересічних канавок, то змочуваність і розтікання припою буде посилюватися капілярною дією канавок.

Таким чином, спосіб зачистки може вплинути на якість пайки. Зачистку з утворенням пересічних канавок отримують наждачною шкіркою (це дає кращий результат, ніж травлення).

Як правило, з'єднувані деталі перед пайкою піддаються лудінню. **Лудіння** полягає в покритті поверхонь деталей, що з'єднуються тонкою плівкою припою. Гаряче лудіння виконують паяльником або шляхом занурення у ванну з розплавленим припоєм розігрітої поверхні, що потрібно облудити.

При лудінні припій вкриває основний метал, тому при пайці луджених поверхонь з'єднання відбувається при більш низькій температурі.

Для усунення плівки окислів з поверхонь металів і припою при паянні, захисту поверхні металів і припою від окислення в процесі пайки та зменшення сил поверхневого натягу розплавленого припою на межі метал-припій служать спеціальні матеріали - **флюси**. Правильний вибір флюсу забезпечує якісне з'єднання і суттєво впливає на швидкість пайки. Обраний флюс повинен бути хімічно активний і розчиняти окисли паяних елементів, термічно стабільний і витримувати температуру пайки без випаровування і розкладання, проявляючи хімічну активність в заданому інтервалі температур.

Всі флюси можна розділити на чотири групи:

- активні або кислотні, застосування яких при електричному монтажі радіоелектронної апаратури заборонено;
- антикорозійні;
- безкислотні - на основі каніфолі. Ця група флюсів знайшла найбільш широке застосування при електричному монтажі. Залишки безкислотних флюсів легко видаляються спиртом. Такий флюс має низьку хімічну активність, тому вимагає особливо гарного очищення поверхонь, що з'єднуються, від окисних плівок перед паянням;
- активовані - на основі каніфолі, що мають у своєму складі різні каталізатори (речовини, що підвищують активність флюсу).

Підготовлені поверхні вкривають флюсом безпосередньо перед гарячим лудінням або паянням.

Механізм дії флюсу (рис. 2) полягає в тому, що окисні плівки металу і припою під дією флюсу розчиняються, розрихлюються і спливають на його поверхні. Навколо очищеного металу утворюється захисний шар флюсу, що перешкоджає виникненню окисних плівок. Рідкий припій заміщає флюс і взаємодіє з основним металом. Шар припою поступово збільшується і при припиненні нагріву твердішає.

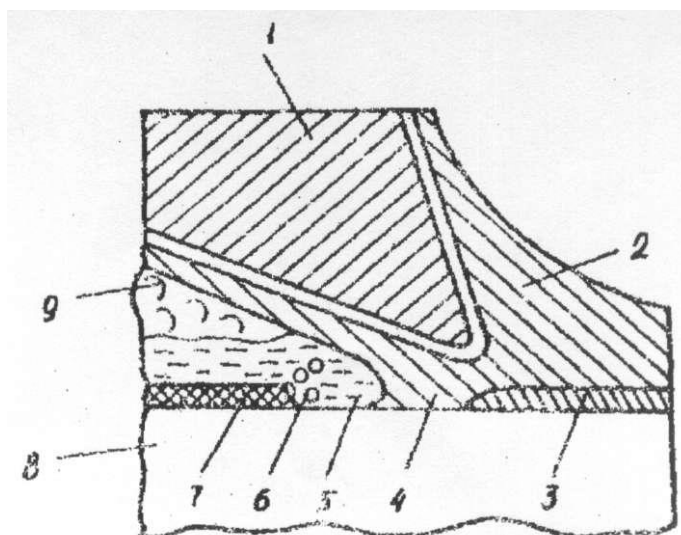


Рис. 2. Схема зони лудіння за допомогою паяльника 1 - наконечник паяльника, 2 - припій, 3 - сплав припою з основним металом, 4 - зона взаємодії припою з основним металом, 5 - флюс, 6 - розчинений окисел; 7 - окисел на поверхні основного металу; 8 - основний метал, 9 - газоподібний флюс.

Марки флюсів та області їх застосування наведені в табл. 2.

Табл. 2.

Тип флюсу	Марка	Склад	Область застосування
Кислотні	Хлористий цинк	Водний розчин хлористого цинку	Деталі з чорних і кольорових металів, що допускають промивку
Антикорозійні	ФІМ	Ортофосфорна кислота, спирт, вода	Деталі з чорних металів, міді та її сплавів, що допускають промивку в гарячій воді
	ВТС	Вазелін, триетаноламін, саліцилова кислота, спирт	Монтажні з'єднання, деталі з міді та її сплавів, срібла, платини
Безкислотні КЕ	Каніфоль	Каніфоль натуральна	Для пайки монтажних з'єднань, деталей з кольорових металів і їх сплавів
Активовані	КЄЦ	Каніфоль, хлористий цинк, спирт	Для пайки чорних, кольорових і дорогоцінних металів
	Паста № 4	Каніфоль, хлористий цинк, вазелін	Для з'єднань підвищеної міцності. Деталі з чорних і кольорових металів, що допускають ретельну промивку

Для поліпшення якості пайки і підвищення продуктивності праці при монтажі електричних кіл рекомендується застосовувати трубчастий припій з каніфольним наповнювачем. Форми перетину трубчастих припоїв показані на рис. 3. Припій являє собою трубку з олов'яно-свинцевого сплаву, усередині якої поміщений каніфольний флюс. Змінена форма серцевини зменшує ймовірність утворення пустот в трубчастому припої і перерв в подачі флюсу в процесі пайки.



Рис. 3. Трубчастий припій з флюсом

Для пайки в одиничному і дрібносерійному виробництві застосовують паяльники. Два типи електричних паяльників представлені на рис. 4.

Для пайки монтажних з'єднань використовують електричні паяльники з нагрівальним елементом у вигляді спіралі або петлі з ніхромового дроту. Необхідну потужність паяльника вибирають залежно від маси і марки деталей, що з'єднуються.

При монтажі радіоелектронної апаратури припоєм ПОС40 застосовують паяльники потужністю 50, 75, 120 Вт з живленням від мережі змінного струму напругою не більше 36 В. Паяльники на 75 і 120 Вт використовують для пайки з'єднань зі значною масою металу (дроти великого перерізу, кабельні наконечники, корпусні пелюстки та ін.) Для пайки припоєм ПОС61 застосовується паяльник потужністю 35 Вт.

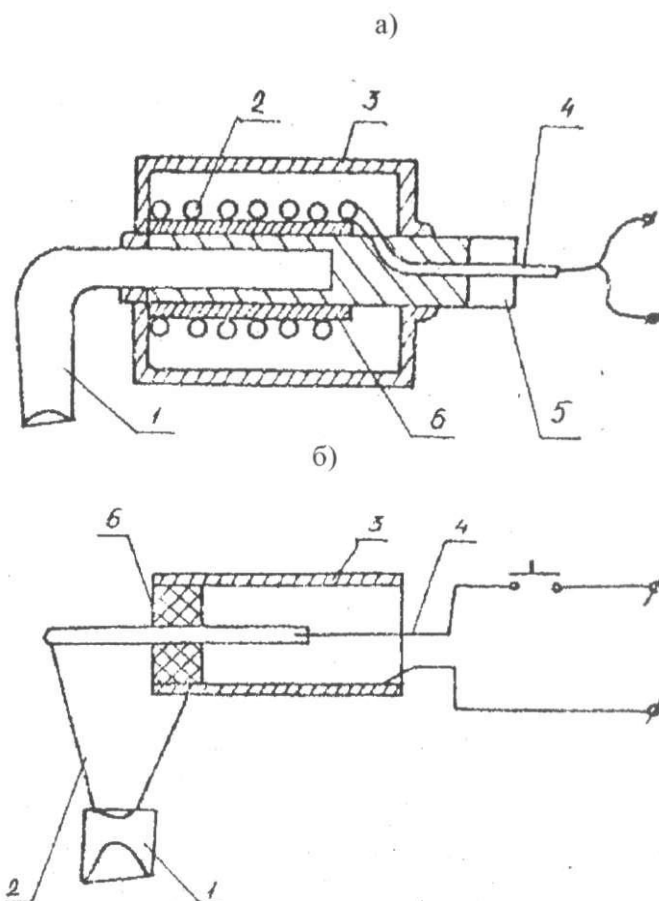


Рис. 4. Типи електричних паяльників: а) паяльник із зовнішнім обігрівом, б) імпульсний паяльник; 1 - мідний стрижень, 2 - нагрівач з ніхромового дроту, 3 - кожух, 4 - виводи, 5 - корпус, 6 - слюдяна або азбестова ізоляція; 7 - наконечник

За конструкцією електричні паяльники бувають трьох типів: молоткові, торцеві і Г-подібні. Всі вони мають суттєві недоліки: більшу втрату часу на розігрів жала, окислення жала, так як воно постійно підігріте, непродуктивна витрата електроенергії.

Від цих недоліків вільний імпульсний паяльник, жалом якого є V-подібний мідний теплопровід, що нагрівається петлею з ніхромового дроту протягом 0,5 – 2 с, з'єднаний з

вторинною обмоткою понижуючого трансформатора. Конструктивно паяльник оформлений у вигляді пістолета, в кожусі якого знаходиться трансформатор. При натисканні на курок включається в мережу первинна обмотка трансформатора, а у вторинній обмотці індукується струм низької напруги в декілька сот ампер і паяльник нагрівається до необхідної температури.

При проведенні процесу пайки важливо витримувати необхідну температуру. Знижена призводить до недостатньої рідкотекучості припою і поганого змочування поверхонь, що з'єднуються. Значне збільшення температури викликає обвуглювання флюсу до активації їм поверхонь спаю. Оптимальна температура пайки $T_{\text{п}}$ залежить від $T_{\text{пл}}$, (плавлення припою):

$$T_{\text{п}} = T_{\text{пл}} + (40 \div 80)^{\circ}\text{C}.$$

Залежно від теплоємності з'єднання вибирають потужність паяльника. При правильному підборі потужності падіння температури його робочого стрижня $T_{\text{с}}$ не повинно бути більше $20 \div 40^{\circ}\text{C}$, тобто

$$T_{\text{с}} = T_{\text{п}} + (20 \div 40)^{\circ}\text{C}.$$

Для проведення високоякісної пайки температуру робочого стрижня паяльника необхідно контролювати і, при необхідності, регулювати. Для цього в промисловості застосовують паяльники з автоматичним регулятором температури або з автоматичною подачею припою.

При правильно обраній температурі паяльника припій повинен швидко плавитися, але не стікати з робочої частини паяльника (жала), а каніфоль повинна не згоряти миттєво, а залишатися на жалі у вигляді киплячих крапельок.

Якість монтажних з'єднань багато в чому залежить від правильності заточення жала паяльника. Найбільш зручною формою жала вважається чотиригранна. Поверхня повинна бути рівною, без раковин, очищеної від нагару і добре залуженою.

Пайка монтажних з'єднань повинна забезпечувати надійність електричного контакту і необхідну механічну міцність. Поверхня деталей, що підлягають паянню, перед монтажем треба піддати гарячому лудінню переважно припоєм, застосовуваним при паянні. Припій і флюс для пайки повинні вибиратися в залежності від матеріалів, які паяються, нагрівання елементів монтажу (температура регламентується виробником) і робочих температур. В якості основних слід застосовувати припої марок ПОС61 і ПОС61М. В якості основного флюсу - 30-відсотковий розчин каніфолі марок А і В у спирті, або кускову соснову каніфоль марки А і Б. Кількість флюсу, що наноситься на місце пайки - мінімальна. Рясне змочування флюсом неприпустимо. Час пайки і лудіння виводів електрорадіоелементів не повинен перевищувати величину, зазначену у технічних умовах пайки для елементів конкретних типів. При відсутності таких обмежень тривалість процесу пайки або лудіння не більше 5 с. Поверхню паяних з'єднань слід очищати тканиною з безворсового матеріалу (наприклад, бавовняною бяззю) або пензликом, змоченим спиртом або спирто-бензиною сумішшю. Очищати паяні з'єднання треба після кожної пайки. У разі застосування спирто-бензинової суміші повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість займання парів бензину.

Опис матеріалів та інструментів

1. електропаяльник;
2. кусачки;
3. пінцет;
4. припій марки ПОС61;
5. каніфоль соснова кускова;
6. шліфувальна шкурка;
7. монтажний мідний дріт;
8. дрти з заліза, алюмінію, молібдену...

9. лупа або мікроскоп.

Послідовність проведення роботи

1. Вивчити теоретичну частину лабораторної роботи.
2. В разі потреби провести операцію лудіння жала паяльника. (Розігріти паяльник, напилком придати потрібну форму жалу паяльника, при цьому зішліфувати окалину, а потім швидким рухом вмочити жало в каніфоль та в припій. Перевірити рівномірність покриття припоєм. В разі несучільного покриття попередні дії повторити).
3. За допомогою кусачок відрізати монтажний багатожильний мідний провід необхідної довжини та на його кінчику зняти приблизно 3 – 4 мм ізоляції.
4. В разі потреби зняти ножом окисли з провідників та залудити його. (Провід кладеться на каніфоль та притискається паяльником, щоб каніфоль розплавилась та покрила дроти проводу, далі така ж операція повторюється з припоєм. Потім залужений провід кладеться на рівну поверхню, його кінчик трохи прижимається паяльником. При цьому сам провід прокручується навколо осі, щоб його дроти рівномірно скрутились та ізоляція не деформувалась від перегріву.)
5. Аналогічні операції повторити з залізним, алюмінієвим та вольфрамовими провідниками.
6. Залужені провідники впаяти в макетницю, та спаяти, де це можливо, між собою.
7. Результати занести в таблицю 3.

Табл. 3

№	Матеріал	Результат, якість з'єднання, дефекти
1	Cu-Cu	
2	Fe-Cu	
3	Al-Cu	
4	W-Cu	
5	Fe-Fe	
6	Fe-Al	
7	Fe-W	
8	Al-Al	
9	Al-W	
10	W-W	

5. Розпаяти з'єднання на макетниці.
6. Провести випайку та впайку елементів з виданої друкованої плати.
7. В висновках до роботи дати опис отримання паяних з'єднань пар матеріалів та описати, якщо це можливо, методики проведення паяних з'єднань тих пар матеріалів, де отримати з'єднання не вдалося.
8. Оформити звіт про виконану роботу.

Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.

Вимоги до звіту

Звіт до лабораторної роботи повинен містити результати спаювання різних комбінацій металічних матеріалів відповідно до таблиці №3, яка повинна бути заповнена в процесі роботи. Пояснення дефектів, що виникли, і результатів спаювання. В висновках до роботи

проводиться опис отримання паяних з'єднань пар матеріалів та описати, якщо це можливо, методики проведення паяних з'єднань тих пар матеріалів, де отримати з'єднання не вдалося.

Увага! Табличні дані, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.

Контрольні питання

1. Що входить у поняття "електричний монтаж"?
2. Які фізичні явища лежать в основі процесу пайки?
3. Як якість і стан поверхонь з'єднуваних деталей впливає на якість паяного з'єднання?
4. Яке призначення флюсу? Які вимоги висуваються до флюсу для отримання якісного з'єднання?
5. Механізм дії флюсу.
6. У чому полягає технологічний процес лудіння? Яке його призначення?
7. Які типи електричних паяльників ви знаєте?
8. Для чого необхідно контролювати температуру пайки? Яким чином може здійснюватися цей контроль?
9. Яку величину складає допустимий час пайки і лудіння виводів електрорадіоелементів?
10. Яким чином можна визначити якість змочування поверхні припоєм?
11. Що забезпечує кращу підготовку поверхні до паяння: механічна очистка поверхні або хімічне травлення і чому?
12. У чому перевага імпульсного паяльника?
13. Які флюси застосовуються при електричному монтажі?
14. Що таке припій?
15. Які характеристики припою мають найбільше значення при паянні?
16. Що таке "трубчастий припій"? У чому його переваги?
17. Припій якої марки найбільш часто застосовується при електромонтажній пайці?
18. Як визначається необхідна температура нагріву паяльника?
19. Як визначається необхідна потужність паяльника?
20. Переваги та недоліки переходу до безсвинцевих припоїв.
21. Як впливає процентний вміст припою на його якість.
22. Дефекти паяного з'єднання. Що впливає на їх утворення?
23. Як впливає процентний вміст припою на його якість?

Література

1. Государственный стандарт.союза ССР. Пайка и лужение. Основные термины и определения ГОСТ 17325—79. Издание официальное. Государственный комитет СССР по стандартам. Москва.
2. Хряпнин В.Е. Справочник паяльщика. М.: Машиностроение, 1981.
3. Справочник по пайке. Под. редакцией И.Е. Петрунина 3-е изд., преработ и доп. М.: Машиностроение, 2003. 480с; с ил.
4. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов. — М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. — 528 с. URL: http://slil.ru/22574041/529407141/Konstruktorsko-tehnologicheskoe_proektirovanie_elektronnoj_apparatury.rar

5. Технология приборостроения: Учебник / Под общей редакцией проф. И.П.Бушминского. – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана. URL: <http://www.engineer.bmstu.ru/res/RL6/book1/book/metod/tpres.htm>
6. DIRECTIVE 2002/95/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. Official Journal of the European Union, 13.2.2003, L 37/19.
7. Smith, G.R. & J.I. Martinez (2003), Lead in December 2002. Mineral Industry Survey, United States Geological Survey <http://minerals.usgs.gov/minerals>.
8. JEDEC STANDARD Marking, Symbols, and Labels for Identification of Lead (Pb) Free Assemblies, Components, and Devices. JESD97 MAY 2004.
9. JOINT INDUSTRY STANDARD Moisture/Reflow Sensitivity Classification for Nonhermetic Solid State Surface Mount Devices. IPC/JEDEC J-STD-020C July 2004. www.nemi.org/projects/ese/lf_assembly.html
10. “Napoleon's Buttons and Lead-free Soldering” Ronald C. Lasky, Lead-free Electronics Magazine November, 2004
11. Whisker Evaluation of Tin-Plated Logic Component Leads. Douglas W. Romm, Donald C. Abbott, Stu Grenney, and Muhammad Khan. Texas Instruments Application Report SZZA037A - February 2003
12. Lead Free Hand Soldering. Lee Whiteman. A publication of the National Electronics Manufacturing Center of Excellence. April 2005

Додаток

Дефекти паяних з'єднань

Якість паяних виробів визначається їх міцністю, надійністю, корозійною стійкістю, здатністю виконувати спеціальні функції (теплопровідність, електропровідність, комутаційні характеристики тощо). Забезпечення цих характеристик досягається оптимальними рішеннями в процесі виробництва паяного виробу. Дефекти, що виникають при виготовленні паяних виробів, можна розділити на дефекти заготовки і збірки, дефекти паяних з'єднань і паяних виробів.

До найбільш типових дефектів паяних з'єднань відносяться пори, раковини, шлакові і флюсові включення, непропаї, тріщини. Ці дефекти класифікують на дві групи: що пов'язані із заповненням проміжку розплавом припою між зпаяними деталями і що виникають у процесі охолодження виробу від температури пайки до температури навколишнього середовища. Дефекти першої групи пов'язані головним чином з особливостями заповнення капілярних проміжків в процесі пайки. Дефекти другої групи зумовлені зменшенням розчинності газів у металах при переході їх з рідкого стану в твердий та усадковими явищами. До них також належить пористість кристалізаційного і дифузійного походження. Крім пор до дефектів суцільності відносяться тріщини, які можуть виникати в металі шва, в зоні спаїв або в паяному металі. Велику групу дефектів становлять шлакові і флюсові включення.

Причиною утворення непропаїв, які беруть початок біля границі розділу з паяним металом, може бути неправильне конструювання паяного з'єднання (наявність «глухих», не маючих виходу порожнин), блокування рідким припоєм газу при наявності нерівномірного нагріву або нерівномірного проміжку, місцева відсутність змочування рідким припоєм поверхні паяного металу. Причиною появи блокованих залишків газу в швах може бути нерівномірність руху фронту рідини при затікання припою в проміжок. Фронт дробиться на ділянки прискореного й уповільненого просування, в результаті чого можуть відсікатися малі обсяги газу. Таким же чином може відбуватися захоплення флюсу і шлаків в шві. У процесі охолодження з'єднання через зменшення розчинності газів відбувається їх виділення та утворення розсіяної газової пористості. Досвід високотемпературної пайки алюмінієвих сплавів з попередньою дегазацією припоїв і флюсів показує, що пористість металу шва при цьому різко зменшується. Іншою вельми поширеною причиною утворення розсіяної пористості є виникнення так званої усадочної пористості. Це явище характерне для випадку затвердіння сплаву з широким інтервалом кристалізації. При малих проміжках усадочні міждендритні (дендрит від грецького δένδρον — «дерево») порожнини, як правило, тягнуться у вигляді ланцюжка в центральній частині шва. При великих проміжках усадочні пори розташовуються в шві більш рівномірно в міждендритному просторі.

Причиною утворення пор в паяних швах може бути ефект сфероїдизації. У цьому випадку пористість в зоні шва виникає в результаті некомпенсованої дифузії атомів припою і паяного металу. Такого роду пористість виникає в системах припій - паяний метал, у яких є помітна різниця в коефіцієнтах дифузії.

Тріщини в паяних швах можуть виникати під дією напруг і деформацій металу виробу в процесі охолодження. Прийнято розрізняти холодні і гарячі тріщини. Холодні тріщини утворюються при температурах до 200°C. Гарячими називаються тріщини, що утворюються при температурі вище 200°C. Ці тріщини зазвичай мають кристалізаційне або полігонізаційне походження. (Полігонізації – перебудова і впорядкування дислокаційної структури металів. Полігонізації призводить до утворення субзеренних границь.) Якщо в процесі кристалізації швидкість охолодження висока і виникаючі напруги великі, а деформаційна здатність металу шва мала, то з'являються кристалізаційні тріщини. Полігонізаційні тріщини виникають вже при температурах нижче температури солідуса після

затвердіння сплаву по так званим полігонізаційним кордонам, що утворюються при вибудовуванні дислокації в металі до рядів та утворенні сітки дислокацій під дією внутрішніх напружень. Холодні тріщини виникають найчастіше в зоні спаїв, особливо в разі утворення прошарку тендітних інтерметалідів. Тріщини в паяному металі можуть з'явитися і в результаті впливу рідких припоїв, що викликають адсорбційне зниження міцності.

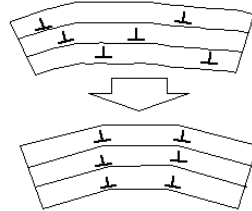


Рис. Схема трансформації дислокаційної структури при полігонізації

Неметалеві включення типу флюсових або шлакових виникають при недостатньо ретельній підготовці поверхні виробу до пайки або при порушенні її режиму. При дуже тривалому нагріванні під пайку флюс реагує з паяним металом з утворенням твердих залишків, які погано витісняються із проміжку припоєм. Шлакові включення можуть утворитися також через взаємодію припоїв і флюсів з киснем повітря або полум'ям пальника.

Відсмоктувач

Відсмоктувач - пристрій для видалення припою. Являє собою вакуумний насос з наконечником для втягування розплавленого припою з оброблюваної поверхні. Зазвичай використовується для демонтажу електронних компонентів.

Найпростіші і найпоширеніші конструкції засновані на вакуумному насосі у вигляді підпружиненого поршня з фіксатором його положення в зведеному стані, з наконечником вхідного каналу у вигляді звуження. Як правило, наконечник змінний і виконаний з фторопласту. Принцип дії: припій на місці пайки розплавляють, підносять зведений відсмоктувач, натискають на спускову кнопку фіксатора, пружина виштовхує поршень, перепад тиску засмоктує припій всередину, звільняючи деталі на платі від припою.

У професійних конструкціях відсмоктувач обладнують спеціалізованим автоматизованим вакуумним насосом і регульованим по температурі наконечником для одночасного розплавлення і відсмоктування припою. У такій конструкції припій не застигає в каналі наконечника.

При демонтажі деталей з використанням відсмоктування, слід звертати увагу на розмір доріжок, що підходять до демонтованої деталі. При роботі з тонкими доріжками, використання відсмоктувача може привести до їх відшарування від плати. У таких випадку замість відсмоктувача доцільніше використовувати мідну обмотку коаксіального кабелю.

Пайка хвилею припою

Пайка хвилею припою з'явилася 30 років тому і в даний час досить добре освоєна. Вона застосовується тільки для пайки компонентів в отворах плат (традиційна технологія), хоча деякі виробники стверджують, що з її допомогою можна проводити пайку поверхнево монтованих компонентів з нескладною конструкцією корпусів, що встановлюються на одній зі сторін комутаційної плати.

Процес пайки простий. Плата, встановлена на транспортері, піддається попередньому нагріванню, яке виключає тепловий удар на етапі пайки. Потім плата проходить над хвилею припою. Сама хвиля, її форма та динамічні характеристики є найбільш важливими

параметрами устаткування для пайки. За допомогою сопла можна змінювати форму хвилі; в колишніх конструкціях установок для пайки застосовувалися симетричні хвилі. В даний час кожен виробник використовує свою власну форму хвилі (у вигляді грецької літери "омега", Z-образну, T-образну та ін.). Напрямок та швидкість руху потоку припою, що досягає плати, також можуть змінюватись, але вони повинні бути однакові по всій ширині хвилі. Кут нахилу транспортера для плат теж регулюється. Деякі установки для пайки обладнуються дешунтуючим повітряним ножом, який забезпечує зменшення кількості перемичок припою. Ніж розташовується відразу ж за ділянкою проходження хвилі припою і включається в роботу, коли припій знаходиться ще в розплавленому стані на комутаційній платі. Вузький потік нагрітого повітря, що рухається з високою швидкістю, несе із собою надлишки припою, тим самим руйнуючи перемички і сприяючи видаленню залишків припою.

Коли вперше з'явилися комутаційні плати, зі зворотного боку яких компоненти встановлювалися на поверхню, їх пайка проводилася хвилею припою. При цьому виникло безліч проблем, пов'язаних як з конструкцією плат, так і з особливостями процесу пайки, а саме: непропаї і відсутність галтелей припою через ефект затінення виводів компонента іншими компонентами, що перегороджують доступ хвилі припою до відповідних контактних площадок, а також наявність порожнин з захопленими газоподібними продуктами розкладання флюсу, що заважають дозуванню припою.

Паяльні станції

Паяльна станція - електричний інструмент для паяння. До складу паяльної станції входить, крім спеціального паяльника, блок керування. Має в порівнянні зі звичайним паяльником розширеними можливостями: регулюванням і підтримкою заданої температури, захистом від перевантажень і статичної електрики, і, іноді, аксесуарами: підставкою для паяльника, відсмоктувачем для видалення зайвого припою з місця пайки, термофеном і т.д.

Паяльні станції поділяють за кількістю підключаємих паяльників на одно- і двоканальні. До складу двоканальної паяльної станції можуть входити монтажні і демонтажні паяльники з різними потужностями і робочими діапазонами температур.

Найчастіше спеціалізований паяльник у складі паяльної станції підтримує швидку зміну наконечника для паяння ("жала") при роботі з різними типами радіодеталей. Існують комбіновані паяльні станції, які включають до свого складу як паяльник, так і фен.

Лабораторна робота № 3

ОЗНАЙОМЛЕННЯ З КОНСТРУКЦІЯМИ КОРПУСІВ, ЗОВНІШНІХ ОБОЛОНОК ТА ТЕХНОЛОГІЯМИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ

Мета роботи: ознайомитись з конструкціями корпусів, зовнішніх оболонок та технологіями виготовлення електронних приладів.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути конструкції вакуумних ламп:
 - діодів;
 - тріодів;
 - тетродів;
 - пентодів;
 - тиратронів;
 - газових розрядників;
 - магнетрону;
 - вакуумних індикаторних елементів.
2. Класифікувати вакуумні приладі за потужністю.
3. Зробити ескізи вакуумних приладів, на які вказав викладач.
4. Розглянути конструкції напівпровідникових приладів:
 - діодів;
 - транзисторів;
 - тиристорів.
5. Замалювати внутрішню конструкцію потужного транзистору зі знятою верхньою частиною корпусу.
6. Класифікувати напівпровідникові приладі за потужністю.
7. Розглянуто та записати основні етапи технологій виготовлення полевого транзистору, напівпровідникової монолітної та гібридної мікросхем.

Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.

Вимоги до звіту

1. Ціль даної роботи.
2. Порядок виконання роботи.
3. Звіт до лабораторної роботи повинен містити:
 - ескіз вакуумної лампи, ескіз внутрішньої конструкції потужного транзистору зі знятою верхньою частиною корпусу (додаток А);
 - основні етапи технологій виготовлення полевого транзистору, напівпровідникової монолітної та гібридної мікросхем.
4. Реферат, що містить технологію виготовлення довільного (вибирати може сам студент) електронного приладу, наприклад транзистору, мікросхеми, вакуумної лампи чи конденсатору... реферат повинен містити короткий опис принципу дії приладу, опис

основних технологічних операцій та рисунки, що їм відповідають. Об'єм реферату необмежений, але не менше 10 ст. (Додаток В).

5. Висновки по роботі.

Увага! Табличні данні, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.

Контрольні запитання:

6. Назвати переваги та недоліки використання вакуумних та напівпровідникових приладів.

7. Які бувають конструкції оболонок вакуумних приладів, з яких функціональних елементів вони складаються, з яких матеріалів виготовляються?

8. Які бувають конструкції оболонок напівпровідникових приладів, з яких функціональних елементів вони складаються, з яких матеріалів виготовляються?

9. Назвати основні етапи виготовлення полевого транзистору, монолітної та гібридної мікросхем.

Література.

1. Антонов В. А. "Технология производства электровакuumных и полупроводниковых приборов": Учеб. пособие для вузов- М.: Высш. Школа, 1979.

2. М. Л. Иориш, Ч. А. Кацман, С. В. Птицин. «Основы производства электровакuumных приборов».

3. Березин Г. Н., Могилкина Д. Р. Технология и конструирование интегральных микросхем», Москва, Радио и связь, 1983.

4. Федоров Л. П. Производство полупроводниковых приборов», Москва, Энергия, 1979.

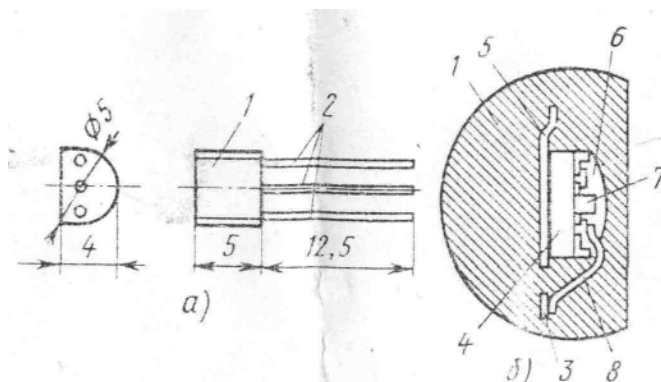


Рис. 1. Транзистор, спресований пластмасою (конструктивне оформлення КТ-25):
а - загальний вигляд, *б* - поперечний розріз (збільшено); 1 - пластмаса,
 2 - виводи, 3, 5, 8 - емітерний, колекторний та базовий виводи, 4 - кристал,
 6 - компаунд, 7 - базова область

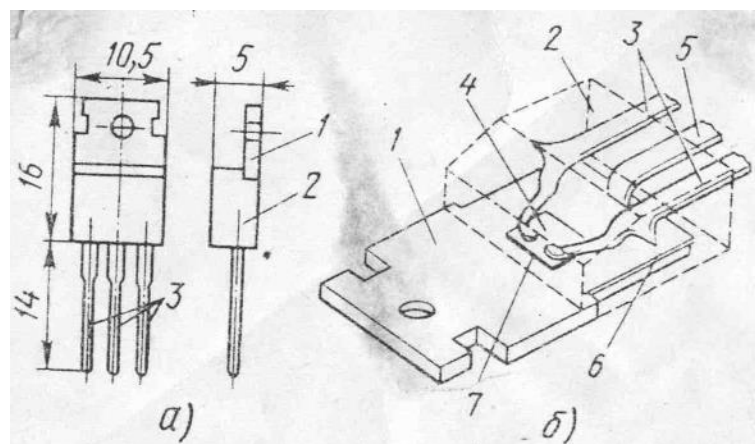


Рис. 2 Потужний транзистор, спресований пластмасою, корпус КТ-28 (збільшено):
а - загальний вигляд, *б* - устрій; 7 - тепловідвід, 2 - пластмасова опресовка,
 3, 5 - виводи, 4 - захисне покриття, 6 - підкладка, 7 - кристал.

Технология изготовления малошумящего полевого транзистора для СВЧ приборов.

Петрова Т.С.; Игнатьев М.Г.

ООО "НПФ "Микран"" , г. Томск, E-mail: tanya@micran.ru

Публикация: Всероссийская Международная Научная Конференция, Институт физики прочности и материаловедения СОП АН, 2003 год.

Рассмотрена технология изготовления полевого арсенид-галлиевого (GaAs) транзистора с самосовмещенным затвором длиной 0,3 мкм; представлены вольт-амперные характеристики и СВЧ параметры прибора.

Малошумящие полевые транзисторы (ПТ) применяются в интегральных схемах усилителей мощности, переключателей, в СВЧ-модулях радиотехнического оборудования и т.д. и являются одним из основных приборов, используемых в СВЧ технике, что объясняется их хорошими усилительными свойствами в области высоких частот.

Проблемой изготовления транзисторов на GaAs является изготовление малошумящих приборов с длиной затвора до 0,3 мкм. Это, возможно, реализовать при использовании маски Al-Al для формирования затвора.

Основные электрические параметры согласно требованиям технического задания по созданию полевого транзистора шириной 900 мкм на частоте 1.9 ГГц:

- коэффициент шума $K_{ш} < 1$ дБ;
- коэффициент усиления по мощности $K_{у} > 15$ дБ.

В существующей технологии ПТШ, требуемый коэффициент шума $K_{ш} < 1$ дБ для малошумящих транзисторов достижим при формировании затвора через маску не более 0.5 мкм.

Полевой транзистор с барьером Шоттки (GaAs ПТШ) состоит из двух омических контактов истока и стока с барьером Шоттки (затвор) между ними, расположенным на тонком проводящем активном слое, который выращен на полуизолирующей подложке (Рисунок 1). Базовая структура GaAs ПТШ содержит тонкий n^+ - контактный слой нанесенный на активный эпитаксиальный слой расположенный поверх полуизолирующей подложке. Перед выращиванием активного слоя для улучшения качества кристаллографии выращивается высокоомный буферный слой [1]. Принцип работы приборов основан на полном обеднении активного слоя при подаче на затвор соответствующего напряжения обратного смещения. Это означает, что необходима корреляция уровня легирования слоя материала и его толщины [2].

Согласно теоретическому анализу уменьшение размеров приводит к более высоким частотам генерации. Длина затвора - одна из наиболее важных параметров GaAs ПТШ, и она должна быть порядка 0,25 мкм для достижения требуемых коэффициентов усиления и шума в области СВЧ. Другими важными параметрами являются паразитные сопротивления истока и затвора. Толщина активного эпитаксиального слоя также очень мала, обычно от 0,1 до 0,2 мкм при концентрации носителей примерно $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$. Толщина высокоомного буферного слоя равна 1 - 2 мкм [3].

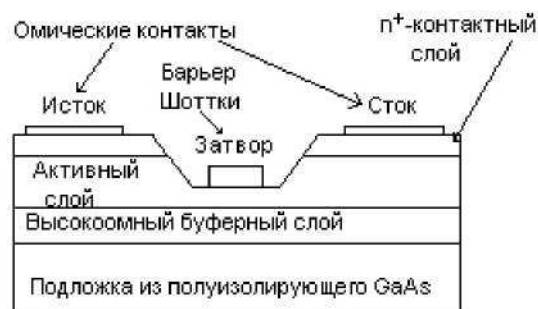


Рисунок 1 - Схематическое изображение GaAs ПТШ с утопленным затвором

На рисунке 2 показано поперечное сечение электродов транзистора. Сплав Au-Ge-Ni - наиболее предпочтительный материал для омического контакта на GaAs [4]. Слой Au является защитным, необходимым для монтажа проволоочных выводов, слой V используется в качестве адгезионного материала и служит для предотвращения диффузии между Au и Au-Ge-Ni. Металл затвора должен иметь хорошую проводимость, хорошую адгезию к GaAs, высокую надежность и, главное, не вступать в реакцию с GaAs вплоть до температур 400 °C [5]. На данное время система тугоплавких металлов, таких как Ti-Ta-Mo-Au, является предпочтительной в качестве материала затвора.

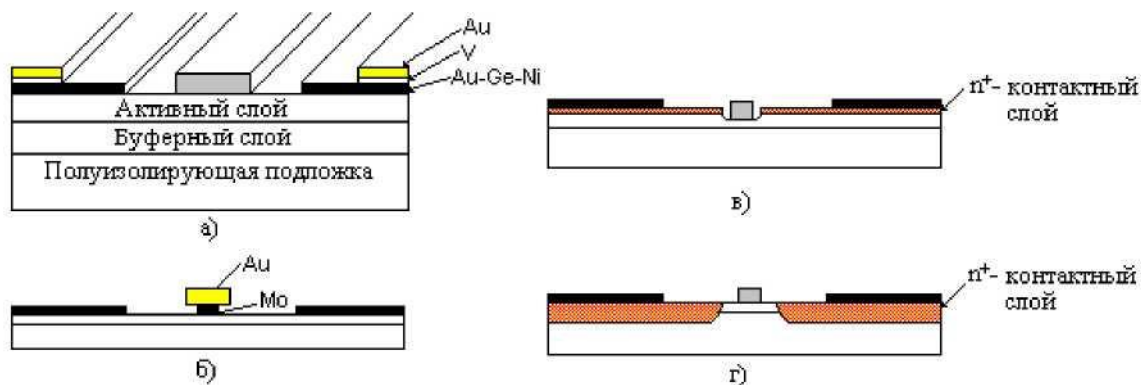


Рисунок 2 - Основные структуры малошумящих GaAs ПТШ:

а - плоского типа; б - с улучшенной структурой затвора; в - утопленная; г - с селективным p^+ - контактным слоем.

На рисунке 2б приведена структура транзистора с уменьшенным сопротивлением затвора малой длины. Барьер Шоттки на затворе выполнен из тугоплавкого материала Mo или W, сверху нанесен слой золота [6]. Слой золота используется и как маска при формировании омических контактов методом самосовмещения. На рисунке 2в показано углубление затвора в структуре с p^+ - контактным эпитаксиальным слоем [7]. Если даже на поверхности нет p^+ - контактного слоя, углубление затвора при его достаточной глубине очень эффективно для уменьшения сопротивления истока. Структура, показанная на рисунке 2г, может быть получена селективным ионным легированием или селективным эпитаксиальным выращиванием [8]. Структура является идеальной, однако очень трудно контролировать активный промежуток между p^+ - истоковым контактным слоем и затвором, если не применен один из способов самосовмещения.

Для изготовления прибора, используется структура, полученная, ионным легированием примеси в полупроводник (ИЛС). Эта структура выращена на полу изолирующей подложке имеет контактный n слой, концентрация которого $1 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, активный n_a слой с концентрацией $3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, буферный n_b слой с концентрацией $1 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ (рис.3)

Технологический процесс изготовления ПТ можно представить следующим образом:

- в первую очередь, с помощью оптической литографии методом "теневого эффекта", создается субмикронная маска на поверхности пленки двуокиси кремния (рис.4);
- полученный таким способом размер окна в маске будет определяться толщиной первоначально нанесенного Al и может достигать вплоть до 0.15 мкм, если отталкиваться от явлений, связанных с волновой природой используемого для экспонирования ультрафиолетового излучения. В пластине в рабочем n-слое вытравливается канал до нужного напряжения отсечки и тока стока насыщения. Затем формируем сам субмикронный затвор, напыляя TaAu, в качестве материала затвора (рис.5). Затем проводим пассивацию поверхности диэлектрическим покрытием.

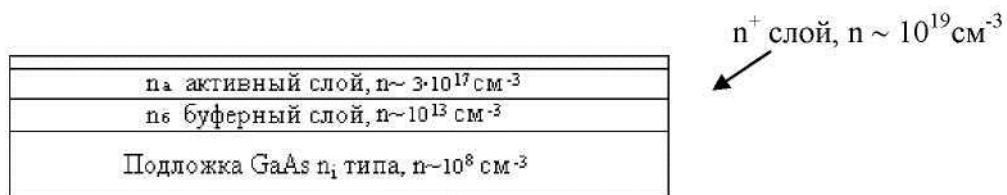
n_a активный слой, $n \sim 3 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$	n^+ слой, $n \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$ 
n_b буферный слой, $n \sim 10^{13} \text{ см}^{-3}$	
Подложка GaAs n_i типа, $n \sim 10^8 \text{ см}^{-3}$	

Рисунок 3. – Исходная структура пластины ПТШ.

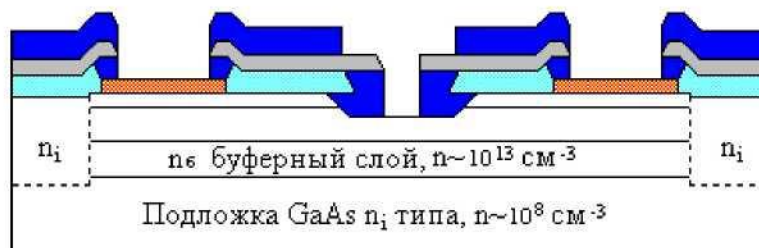


Рисунок 4. - Формирование субмикронного затвора, при использовании оптической литографии.



Рисунок 5. - Готовый запассивированный транзистор. В таблице представлены экспериментальные исследования ПТШ.

Таблица — Статические характеристики ПТШ, $I_{\text{снас}}=100 \text{ мА}$

Параметр	№1	№2	№3	№4	№5
Ток насыщения стока, $(U_{\text{зи}}=0\text{В}) I_{\text{нас}}$, мА	100	100	100	100	100
Напряжение отсечки, $U_{\text{отс}}$, В	1,8	2	2	1,8	2
Напряжение насыщения стока, $U_{\text{си нас}}$, В	1,5	1,5	1,7	1,5	1,6
Пробивное напряжение сток-исток, $U_{\text{си проб}}$, В	25	21,5	23	22,5	20
Пробивное напряжение затвор-сток, $U_{\text{зс проб}}$, В	17	17	17	17,5	13
Высота барьера затвора, ϕ , В	0,6	0,56	0,5	0,6	0,56
Коэффициент идеальности, η	1,26	1,09	1,26	1,17	1,092
Паразитные сопротивления, $R_{\text{ш}}/R_{\text{с}}/$, Ом	0,6/3,6	0,8/4,2	0,4/2,9	0,9/4,6	0,8/4,4
Крутизна, S , мА/В·мкм	0,16	0,14	0,14	0,15	0,14
Емкость затвора, $C_{\text{з}}^0$, пФ	1.44/0.29	1.45/0.3	1.4/0.28	1.45/0.3	1.4/0.28
Длина затвора, $L_{\text{з}}$, мкм	0,43	0,44	0,42	0,44	0,42

Типичные вольтамперные характеристики маломощного GaAs ПТШ с длиной затвора менее 0.5 мкм представлены на рисунке 6.

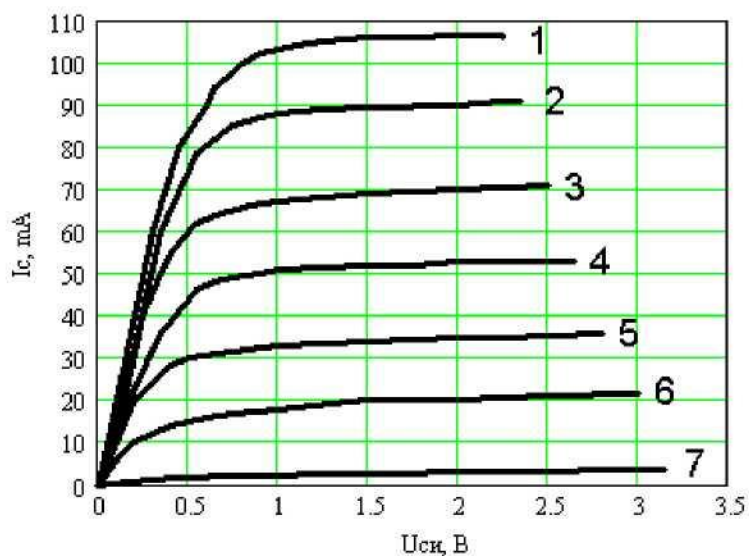


Рисунок 6 - Вольтамперные характеристики GaAs ПТШ при $I_{\text{снас}}=100\text{мА}$: 1 - $U_{\text{зи}}=0\text{В}$; 2 - $U_{\text{зи}}=-0.2\text{В}$; 3 - $U_{\text{зи}}=-0.4\text{В}$; 4 - $U_{\text{зи}}=-0.6\text{В}$; 5 - $U_{\text{зи}}=-0.8\text{В}$; 6 - $U_{\text{зи}}=-1\text{В}$; 7 - $U_{\text{зи отс}}=-2\text{В}$.

По анализу статистических параметров ПТШ следует, что экспериментальные образцы ПТШ имеют стабильные значения напряжения отсечки - 1.8 и 2 В при $I_{\text{нас}}=100 \text{ мА}$, что соответствует качественной границе раздела пленка-подложка.

Приборы обладают стабильными и высокими параметрами напряжения пробоя – 20 В, достигнутые за счет углубленной структуры затвора и качественной отработке процесса травления канала по заданным параметрам.

Экспериментальные образцы так же обладают низкими паразитными сопротивлениями истока и стока. Низкие сопротивления получены за счет хороших полученных омических контактов. Полученные паразитные сопротивления на прямую сказываются на такие параметры как $K_{ш}$ и $K_{у}$.

Приборы имеют хорошие статические характеристики, такие как крутизна ВАХ $S=0.2$ мА/Вмкм, и напряжение пробоя порядка $U_{пр}=20$ В и динамические характеристики, такие как коэффициент шума $K_{ш}=0.9$ дБ, и коэффициент усиления $K_{у}=17$ дБ, полученные за счет малой длины затвора транзистора порядка $L_z=0.3$ мкм.

Приближенные значения коэффициента идеальности к 1 соответствуют тому, что ток через барьер полученного прибора приближен к теоретическому экспоненциальному росту тока через барьер.

В заключении можно сказать что, используя полученные данные при изготовлении мощного маломощного транзистора, проводятся разработки для изготовления интегральных схем усилителей на 10 ГГц, переключателей и т.д.

Список используемой литературы

1 Nozaki, T., M. Ogawa, H. Terao and H. Watanabe, Inst. Phys. Conf. Ser. No.24, Chapt. 2, p.46, 1985

2 Стриха В.И., Бузанева Е.В., Радзиевский И.А. Полупроводниковые приборы с барьером Шоттки (физика, технология, применение) / Под ред. В. И. Стрихи. М., «Сов, радио», 1974, 248 с.

3 Hewitt, B.S., et al., Electron. Letters, 12:309, 1991.

4 Н.К. Быкина и др. Влияние технологии формирования омического контакта на параметры ПТШ на арсениде галлия. "Электронная техника", сер. 1. Электроника СВЧ. Вып 9/433, 1990. - 57с.

5 Полевые транзисторы на арсениде галлия. Принципы работы и технологии изготовления: Пер. с англ. / Под ред. Д. В. Ди Лоренцо, Д. Д. Канделуола. - М.: Радио и связь, 1988.-496 с.

6 Takahashi, S. et al., Proc. 8th Conf. Solid State Device, Tokyo, p. 115, 1987.

7 Buthin, R.S. et al., IEEE Int. Electron Devices Meeting, Dig. Tech. Papers, p. 136, 1988.

8 Fukuta, K., T. Nozaki, and N. Kawamura, IEEE Trans. Elecnron Devices, ED-24:1129, 1987.

Лабораторна робота № 4

ОКИСЛЮВАННЯ ОРГАНІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПЛАЗМІ НВЧ РОЗРЯДУ

Мета роботи: вивчити особливості газового розряду НВЧ і можливість його використання для плазмохімічних, технологічних процесів.

Короткі теоретичні відомості

Коли в газі створюють електричне поле з напруженістю, достатньої для пробую, запалюється газовий розряд. При використанні поля надвисоких частот електрони встигають пройти невеликий шлях до того, як поле змінить напрямок. Тому вони не усуваються електричним полем НВЧ із області розряду, і на характеристики розряду не впливають процеси, що відбуваються на стінках газорозрядної камери. У цьому полягають основні відмінності високочастотних розрядів від розрядів на постійному струмі.

У розрядах НВЧ основним процесом, що забезпечує їхнє існування є іонізація атомів і молекул газу електронним ударом, тому що електрони більш ефективно прискорюються електричним полем, ніж іони. Однак простий підрахунок енергії коливального руху електронів у полях НВЧ при напруженості електричного пробую газу (0,2...2 кВ/см) показує, що ця енергія складає близько 10^{-3} еВ, яка набагато менше граничної енергії для іонізації, що становила 10 еВ. Це пояснюється наступним.

Електрон може здобувати енергію від НВЧ поля вище порога іонізації в тому випадку, якщо він приймає участь в зіткненнях з газовими частками. При кожному зіткненні вектор швидкості електрона хаотично змінює свій напрямок, а енергія напрямленого руху перетворюється в енергію хаотичного руху, тобто в теплову (графічне пояснення розміщене в додатку А). При енергії електронів менше порога іонізації зіткнення електронів з газовими частками носять пружний характер з малою втратою енергії. В змінному електричному полі для ефективного перетворення напрямленого руху в хаотичний необхідно, щоб частота зіткнень електронів з газовими частинками ν була порядку кругової частоти НВЧ коливаний ω ($\nu \sim \omega$). При $\nu (> \text{чи } <) \omega$ напруженість поля необхідна для пробую зростає. Коли $\nu \approx \omega$ електрон коливається в змінному електричному полі й досить часто зіштовхується з газовими частками, поступово набираючи енергію; необхідну для іонізації газу.

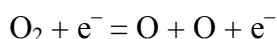
Газовий розряд відбувається тоді, коли кількість електронів, що виникають у результаті іонізації, дорівнює кількості електронів, що втрачаються в результаті рекомбінації, прилипання або дифузії до стінок.

У плазмі газового розряду НВЧ, як, втім, і в інших видах розрядів, утворюються різні енергетично й хімічно активні частки. Їхнє утворення відбувається в наслідок електронного удару, при непружних зіткненнях між важкими частинками, під дією ультрафіолетового випромінювання плазми.

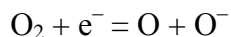
У газорозрядній плазмі енергія електронів значно перевищує енергію важких частинок, тому швидкості процесів збудження газових часток, їх дисоціація й іонізація в основному визначаються електронним ударом.

У кисневій плазмі відбуваються наступні основні види взаємодій електронів з молекулярним киснем:

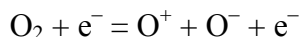
а) дисоціація молекулярного кисню



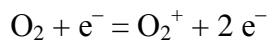
б) утворення негативних іонів шляхом дисоціації з прилипанням електрона



в) дисоціація молекулярного кисню з утворенням іонів



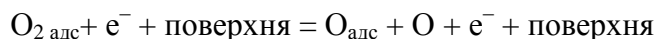
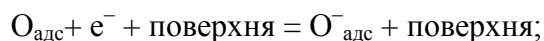
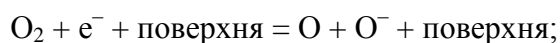
г) пряма іонізація молекулярного кисню



У всіх розглянутих реакціях утворені важкі частинки можуть перебувати в збудженому стані.

Таким чином, взаємодія електронів з молекулярним киснем призводить до утворення широкого кола хімічно активних частинок: атомарного кисню, атомарних і молекулярних іонів кисню, збуджених атомів і іонів кисню.

На поверхні оброблюваного матеріалу також відбувається активування кисню, але останній при цьому перебуває в адсорбованому стані. Як приклад можна привести наступні реакції:



Взаємодія активних кисневих частинок з органічними матеріалами призводить до утворення летючих окису та двоокису вуглецю, і таким чином, до розкладання органічних сполук, які в основному складаються з вуглецю, водню й кисню.

На процес окислювання органічних матеріалів значний вплив робить безпосередній контакт матеріалу з газорозрядною плазмою, при якому оброблюваний матеріал піддається впливу ультрафіолетового випромінювання й бомбардування електронами. Це призводить до прискореного протікання реакції.

Хімічна реакція окислювання протікає тільки тоді, коли забезпечується безперервна доставка хімічно активних частинок до оброблюваної поверхні й відбувається безперервний відвід продуктів реакції від поверхні. Дані вимоги легко виконуються в газових проточних системах.

Використання газового розряду НВЧ у кисні або повітрі (у якому досить велика концентрація кисню) для окислювання органічних матеріалів дозволяє знизити температуру обробки (не потрібне нагрівання для активації процесу), виключити рідинну хімічну обробку, скоротити тривалість процесу, легко автоматизувати процес.

Процес окислювання може відбуватися й в інших типах газових розрядів: тліючому, дуговому, іскровому, з розжареним катодом і височастотному (частота 13,56...40,6 МГц). Але розряд НВЧ більш зручний для реалізації плазмохімічного технологічного процесу й забезпечує більш високий рівень активування частинок.

Процес окислювання органічних матеріалів у газорозрядній плазмі можна використовувати для очищення підкладок перед нанесенням яких-небудь покриттів з метою поліпшення адгезії. Причому, якщо матеріал підкладок складається з оксидів, то киснева плазма не робить на нього значного впливу.

У технології мікроелектронних приладів широко застосовується метод фотолітографії, заснований на створенні на поверхні підкладок полімерної фото резистивної маски. Вона забезпечує захист ділянок поверхні підкладки під час травлення.

Після травлення підкладки маску варто видалити. Традиційна технологія заснована на розчиненні фоторезисту в рідких середовищах. методом плазмового окислення, який досліджується в даній лабораторній роботі, є більш екологічно чистий при видаленні фоторезисту, тому йому потрібно віддавати перевагу.

Процес окислювання можна використовувати для створення діелектричних шарів з оксидів, наприклад: у МОН - структурах і конденсаторах, для травлення матеріалів, що утворюють летючі сполуки з киснем.

Опис лабораторної установки

Схема лабораторної установки показана на рис. 2.1. Всередині робочої камери 1 печі "Електроніка" розміщений реактор 2, що герметизується за допомогою ковпака 3 з кварцового скла або "Пирекса", установленого на гумовому ущільненні 4. Внутрішній об'єм реактора близько 1 дм³. Ковпак установлюють після розміщення в реакторі підкладки 5, на яку нанесена речовина, що окисляється у НВЧ розряді. Як підкладку можна використовувати пластину з напівпровідника, наприклад, з кремнію, ситалу, скла. Ковпак притискається до гумового ущільнення силою атмосферного тиску. Це спрощує конструкцію й забезпечує одержання мінімального тиску повітря в реакторі близько 0,5 кПа. Для регулювання тиску повітря в реакторі використовується натікач "Рег. тиску" 6, що з'єднаний з реактором патрубком 7, що має отвори по твірній, для рівномірного напускання повітря по висоті реактора. Газ із реактора відкачується за допомогою вакуумного механічного насоса типу НВР-5Д, вихлоп якого приєднаний до витяжної вентиляції.

Для виміру тиску повітря застосовується газорозрядний деформаційний вакуумметр типу ВДГ-1 з механотроном манометричним перетворювачем 9 коронного розряду типу ПМДГ-1 (МКР-1).

Генератором НВЧ енергії є магнетрон 10, що входить до складу печі "Електроніка", потужність НВЧ коливань – близько 500 Вт, частота – 2,45 ГГц. Для більше рівномірного розподілу електромагнітного випромінювання в робочій камері у верхній її частині розміщений вентилятор 11 з металевими лопастями, що виконує також роль дисектора-відбивача електромагнітної хвилі. Система електричного блокування й конструкція дверцят робочої камери й реактора перешкоджають виходу НВЧ випромінювання назовні.

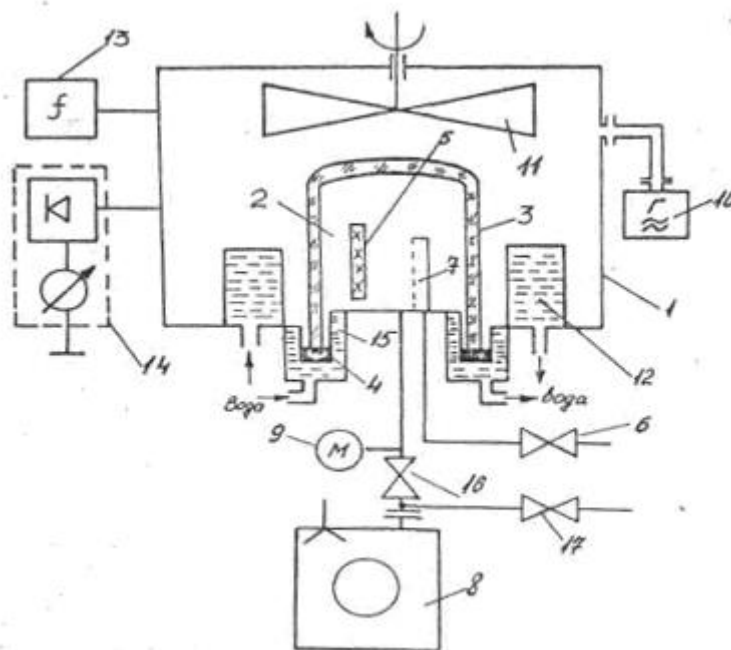


Рис. 2.1. Схема лабораторної установки: 1 – робоча камера; 2 – реактор; 3 – ковпак; 4 – гумове ущільнення; 5 – підкладка; 6 – натікач для регулювання тиску; 7 – патрубок для напуску газу в реактор; 8 – механічний насос; 9 – манометричний перетворювач ПМДГ-1; 10 – магнетрон; 11 –

вентилятор-дисектор; 12 – водяний поглинач енергії; 13 – частотомір; 14 – індикатор потужності; 15 – щілина; 16 – вакуумний вентиль; 17 – електромагнітний натікач для напуску повітря в насос

Для запобігання виходу магнетрона з ладу через відбиття частини енергії назад у магнетрон у камері розташовується водяний поглинач енергії 12. Для виміру параметрів електромагнітного поля в камері використовуються частотомір 13 і індикатор НВЧ потужності 14.

Під час підтримки газового розряду стінки реактора, інтенсивно розігріваються через виділення енергії рекомбінації частинок, утворених у результаті дисоціації молекулярних газів, що входять до складу повітря (у першу чергу азоту й кисню). Для запобігання перегріву металевих деталей реактора й гумового ущільнення використовується проточне водяне охолодження. Крім того, для захисту гуми від впливу газового розряду ущільнення розміщене в глибокій вузькій щілині 15, відстань між стінками щілини і скляного ковпака становить біля 1 мм.

Для відключення насоса від реактора передбачений вентиль "Швидкість відкачки" 16.

Система керування роботою вакуумного насоса містить всі необхідні елементи; реле контролю фаз типу ЕЛ=10; автоматичний вимикач АЕ-2026; електромагнітний пускач ПМЛ; теплове реле РТЛ; електромагнітний натікач 17 для напуску повітря в насос після його вимикання. Органи керування роботою установки розміщені на передній панелі. Крім того, на ній розташовані транспаранти, що світяться, індуючі правильність фазування мережі живлення, ввімкнення насоса й водяного охолодження.

Для керування роботою НВЧ печі використовуються елементи, розташовані на її передній панелі: кнопки ввімкнення печі й підсвічування в робочій камері, реле часу.

Конструктивно лабораторна установка складається з настільного блоку, що містить НВЧ піч "Електроніку" з системою керування, і вакуумного насоса, розміщеного під лабораторним столом.

На рис. 2.2. показаний зовнішній вигляд плазмохімічної установки, де: А – ручка дверцят робочої камери; Б – кнопка ввімкнення магнетрона "Нагрівання"; В – кнопка ввімкнення підсвічування камери "Світло"; Г – мережевий вмикач (автоматичний вимикач); Д – лампочка індикація ввімкнення мережі; Е – попереджувальне табло; З – табло, що сигналізує про порушення мережі живлення; Ж – табло, що сигналізує про припинення подачі води; И – кнопка ввімкнення насоса; К – кнопка вимикання насоса й ввімкнення електромагнітного натікача для напуску повітря в насос; Л – регулятор напуску газу в реактор; М – рукоятка вентиля "Швидкість відкачки"; Н – реле часу.

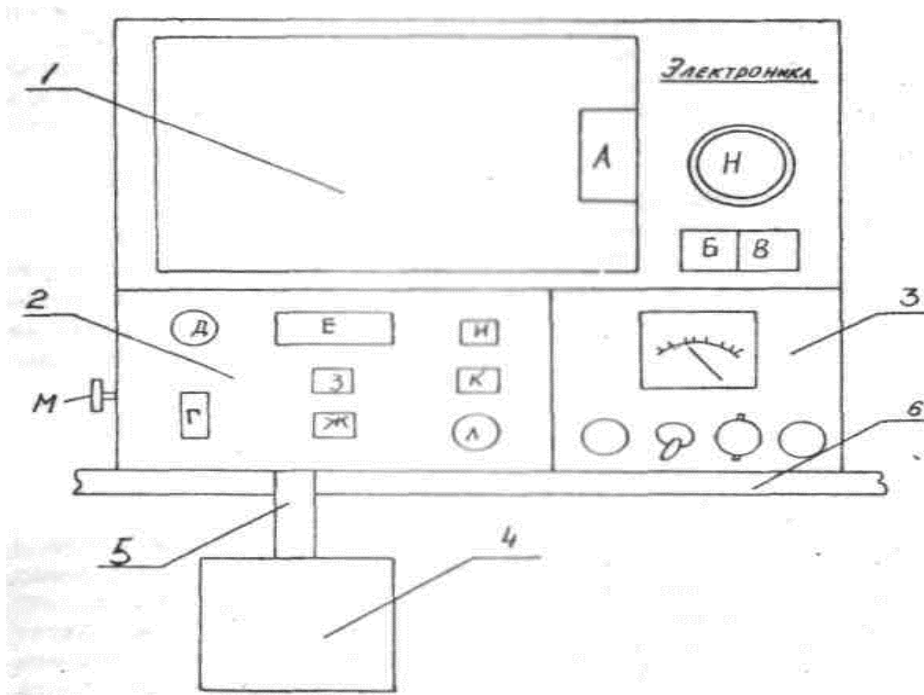


Рис. 2.2. Плазмохімічна установка: 1 – піч "Електроніка"; 2 – блок керування й захисту; 3 – блок виміру тиску ВДГ – 1; 4 – вакуумний насос; 5 – вакуумопровід, 6 – стіл установки

Інструкція для експлуатації установки й порядок виконання роботи

2.1. Загальні вказівки

Плазмохімічна установка призначена для проведення лабораторних робіт з окислювання матеріалів у плазмі НВЧ-розряду. Вона також може бути використана для науково-дослідних робіт з вивчення НВЧ-розряду низького тиску й технологічних процесів на його основі.

Дана установка являє собою складний пристрій, тому необхідна ретельна підготовка до проведення робіт і дотримання правил експлуатації й техніки безпеки під час процесів окислювання. У випадку виявлення несправності перед початком або в процесі експлуатації (якщо буде відсутня подача води або обрив однієї з фаз, про що свідчить загоряння відповідного табло на передній панелі) необхідно відключити установку від мережі й сповістити про це лаборантові.

2.2. Вимоги техніки безпеки

Перед підключенням установки до мережі і її ввімкненням необхідно попередньо перевірити заземлення корпусу. Для заземлення використовуються клемма "Заземлення" на задній панелі.

Перед ввімкненням вакуумметра ВДГ-1 перемикач "Межі" повинен бути встановлений у положення "Відкл."

У камері установки обов'язково повинен перебувати водяний поглинач НВЧ-енергії. При його відсутності може вийти з ладу магнетрон через виникнення в ньому стоячої хвилі внаслідок відбиття НВЧ-хвилі від камери.

Категорично забороняється:

а) вмикати піч при знятих кришках кожуха печі або у випадку ушкодження сітки двері або дна камери;

б) відкривати двері камери при ввімкнених генераторі й вакуумному насосі;

в) вмикати піч й виконувати відкачку газу, якщо установка не вимикається при нещільно прикритих дверях.

2.3. Підготовка установки до роботи

1. Перш ніж приступити до роботи, ознайомтесь з інструкціями з лабораторної роботи й експлуатації вакуумметра ВДГ-1 (додаток Б), огляньте установку, перевірте наявність заземлення. Вентиляційні отвори обшивки не повинні бути закриті іншими приладами. Перемикач "Межі" вакуумметра встановіть в положення "Відкл."

2. Відкрийте вентиль подачі води в установку, що розташований на трубопроводі поруч із установкою. Перевірте наявності водяного поглинача НВЧ-енергії в камері.

3. Вставте вилку кабелю живлення установки в мережу змінного трифазного струму напруги 380 В частотою 50 Гц і ввімкніть на передній панелі автоматичний вимикач "Мережа" (з лівої сторони установки), а також тумблер вакуумметра "Мережа" (із правої сторони).

4. Прогрійте установку протягом 5 хв.

5. Встановіть ручку "Швидкість відкачки" на бічній стінці в положення, що відповідає упору при обертанні проти годинникової стрілки.

6. Досліджувані зразки (пластини, що оброблюються) закріпіть вертикально в спеціальному тримачу реактора, поставте скляний ковпак у відповідну щілину підстави, при цьому ковпак не повинен торкатися металевих стінок щілини, й закрийте щільно двері печі. Для освітлення камери натисніть кнопку "Світло".

2.4. Порядок роботи з установкою

1. Для обробки пластин необхідно виконати вимоги п. 3.

2. Ввімкніть кнопку "Пуск" насоса. При цьому засвітиться лампочка в кнопці і табло "Камеру не відкривати. Небезпечно!", Встановіть необхідний тиск газу в реакторі. Для цього користуйтеся рукояткою "Регулювання тиску" і показаннями вакуумметра ВДГ-1. Вакуумметр установлювати перемикачем "Межі" у положення виміру з положення "Відкл" тільки після 20 сек. з відкачки, інакше буде зашкалювати стрілочний індикатор і він може погнутися.

3. Заведіть механічні годинники. Для цього поверніть ручку реле часу до упору за годинниковою стрілкою, а потім при обертанні у зворотньому напрямку встановіть стрілку на ручці напроти обраного розподілу шкали часу. Натисніть кнопку печі "Нагрівання". Про ввімкнення магнетрону свідчить шум від роботи вентилятора-диссектора.

4. Стежте за ходом протікання процесу через вікно дверцят. Для ввімкнення освітлення камери печі використовують кнопку "Світло". Під час процесу обробки стежте за показами вакуумметра. Для цього перемикач вакуумметра "Межі" переведіть із положення "Відкл" у положення, що забезпечує вимір тиску; після закінчення виміру перемикач установіть в положення "Відкл".

5. Після автоматичного відключення печі, що свідчить про закінчення процесу обробки, установіть перемикач "Межі" вакуумметра ВДГ-1 у положення "Відкл", потім вимкніть насос, натиснувши на кнопку "Вимк". При цьому засвітиться червона лампочка усередині кнопки, що сигналізує про необхідність напуску повітря в насос. Тримати кнопку потрібно доти, поки лампочка не згасне.

6. При необхідності можна припинити процес обробки в будь-який момент часу. Для цього варто повернути на себе ручку дверцят робочої камери, не відкриваючи дверцята, магнетрон відключиться.

7. Для того щоб вийняти пластини з реактора, відкрийте дверцята робочої камери, зніміть ковпак реактора й зніміть пластину. Дотримуйтесь обережності, тому що ковпак нагрівається до високої температури – користуйтеся теплозахисними рукавичками.

8. У випадку загоряння табло "Немає фази", "Немає води" або випадкового відкриття дверцят камери негайно перевести перемикач "Межі" вакуумметра в положення "Відкл", виключити магнетрон, насос і напустити в нього повітря.

9. Після закінчення процесу відключити установку, перекрити воду, очистити робочу камеру й реактор.

2.5. Програма виконання лабораторної роботи

Під час виконання лабораторної роботи вивчається процес очищення підкладок від масляних забруднень і видалення фоторезисту в плазмі безелектродного НВЧ-розряду в повітряній атмосфері.

1. Вивчити характеристики безелектродного НВЧ-розряду низького тиску. Для цього ввімкнути установку, не розміщуючи підкладки в реакторі. Визначити діапазон тисків, у якому підтримується НВЧ-розряд. Записати у звіті значення мінімального й максимального тисків діапазону.

Звернути увагу на просторову структуру розряду. Пояснити явища, що спостерігаються. Замалювати у звіті картину світіння розряду при різних тисках.

2. Помістити в реактор скляну підкладку, покриту шаром масла. Звернути увагу на зовнішній вигляд і зміну кольору світіння розряду при наявності підкладок. Провести кілька циклів окислювання (кожний на 1...2 хв) до повного видалення масла з поверхні скла. Потім вийняти підкладки з реактора.

Перевірити якість очищення підкладки від органічних забруднень методом розриву водяної плівки. Для цього опустити підкладку в склянку з водою й перевірити, як змочує вода її поверхню. Записати у звіті час очищення, результати перевірки якості, результати спостереження за рівномірністю очищення, тиск, при якому проводилось очищення.

3. Помістити в реактор підкладку з нанесеним шаром фоторезисту. Провести кілька циклів обробки (по 1 хв кожний) для визначення рівномірності видалення резиста з поверхні підкладки й час повного видалення резиста.

Дану частину роботи виконати з задубленим і незадубленим фоторезистом. Визначити, як впливає задублювання резиста на його стійкість до впливу газового розряду.

Результати спостережень та вимірів тисків, а також часу очищення записати у звіті.

4. Повторити попередній п.3 при 2-3 значеннях тиску газу в реакторі.

Отримані дані занести у звіт.

Увага! Перед початком роботи кожен студент повинен мати протокол та бути теоретично підготовленим.

2.6. Вимоги до звіту

Звіт повинен містити мету лабораторної роботи, схематичну конструкцію плазмо-хімічної установки з позначенням її елементів, короткий опис порядку виконання роботи, результати і висновки.

Увага! Дані, розрахунки, рисунки графіків, осцилограм, висновки повинні бути представлені в рукописному вигляді, без використання комп'ютерної та розмножувальної техніки.

Контрольні питання

1. Відмінність плазмохімічних процесів від термічно активованих рівноважних хімічних процесів і обробки в рідких середовищах.
2. Основні області застосування плазмохімічних процесів і процесу окислювання.
3. Фоторезист і його хімічний склад.
4. Основні елементи плазмохімічних установок.
5. Особливості розрядів НВЧ. Чому вони можуть підтримуватися без електродів?
6. Конструкція установки для проведення лабораторної роботи.
7. Принцип дії газорозрядного деформаційного вакуумметра. Чому він більш кращий для плазмохімічних систем чим тепловий?
8. Пояснити, чому задублений фоторезист краще протистоїть дії газового розряду?
9. Хімічні реакції, що протікають при окислюванні органічних матеріалів у газовому середовищі, що містить кисень.

ДОДАТОК А

Графічне пояснення перетворення енергії напрямленого руху в енергію хаотичного руху. Доки вільний електрон не має достатньої енергії для іонізації, він пружно взаємодіє з газовими частинками, майже без втрат енергії. Тобто за законом збереження імпульсу – сума імпульсів до взаємодії дорівнює сумі імпульсів після взаємодії.

$$m_e v_e' + m_m v_m' = m_e v_e'' + m_m v_m''$$

де $m_e v_e'$, $m_e v_e''$ – імпульси електрона та $m_m v_m'$, $m_m v_m''$ – молекули до й після взаємодії.

Рухливість електрона на два порядки більше за рухливість молекули, тому імпульс молекули в порівнянні з імпульсом електрона наближається до нуля, тобто

$$m_e v_e' \approx m_e v_e''$$

$$v_e' \approx v_e''$$

$$(m_e v_e'^2)/2 \approx (m_e v_e''^2)/2$$

Таким чином енергія електрона при пружному ударі майже не змінюється. Але швидкість векторна величина. Розкладемо її на дві складові (див. рис.): швидкість напрямленого руху V_n та швидкість теплового (хаотичного) руху V_T .

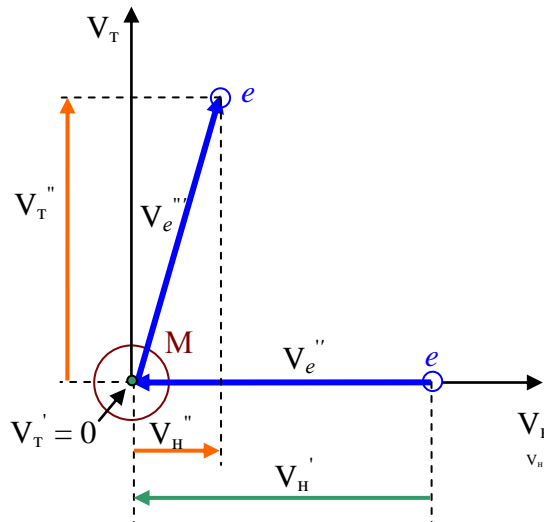


Рис. Пружна взаємодія електрона та молекули

Припустимо, що електрон прискорюється в напрямку дії електричного поля. Його швидкість по модулю V_e' до зіткнення дорівнює швидкості V_e'' після зіткнення, але проекція на вісь напрямленого руху V_n зменшується ($V_n' > V_n''$), тоді як проекція швидкості теплового руху збільшується від нуля до V_T'' . Відповідно енергія напрямленого руху зменшується, а теплового (хаотичного) збільшується.

И таким чином при кожному пружному ударі електрона по молекулі відбувається перетікання частини енергії напрямленого руху в тепловий, поки електрон не досягне енергії достатньої для іонізації, тобто непружної взаємодії.

Інструкція по експлуатації вакуумметра типу ВДГ-1**І. Призначення приладу**

Вакуумметр призначений для виміру тиску в діапазоні $100 \div 10^{-1}$ мм рт. ст. ($1,33 \cdot 10^4 \div 1,33 \cdot 10^1$ Па).

2. Технічні характеристики

1. Діапазон показання вакуумметра $100 \div 10^{-2}$ мм рт. ст.

Діапазон вимірів $100 \div 10$ мм рт.ст. складається з 5 піддіапазонів:

I	$1 \div 10^{-1}$ мм рт. ст.	(шкала на 1 мм рт. ст.)
II	$1 \div 3$ мм рт. ст.	(шкала на 3 мм рт. ст.)
III	$3 \div 10$ мм рт. ст.	(вся шкала на 10 мм рт. ст.)
IV	$10 \div 30$ мм рт. ст.	(вся шкала на 30 мм рт. ст.)
V	$30 \div 100$ мм рт. ст.	(вся шкала на 100 мм рт. ст.)

Інтервал $10^{-1} \div 10^{-2}$ 1-го піддіапазону – індикаторний,

2. При індивідуальному градуюванні наведена похибка виміру тиску в робочих умовах не більше:

у діапазонах	$1 \div 10^{-1}$,	$1 \dots 3$ мм рт. ст.	$\pm 15\%$
у діапазонах	$3 \div 10$,	$10 \div 30, 30 \div 100$ мм рт. ст.	$\pm 10\%$

В індикаторному діапазоні похибка не нормуються.

У діапазоні $30 \div 100$ мм рт. ст., варто користуватися градуйованою характеристикою, наведеної в паспорті перетворювача.

3. Вакуумметр живиться від мережі змінного струму напругою $220 \text{ В} \pm 10\%$. частотою $50 \text{ Гц} \pm 1\%$ зі вмістом гармонік до 5%.

3. Принцип роботи й опис схеми.

Вакуумметр складається з манометричного перетворювача ПМДГ-1, вимірювального блоку й сполучного джгута (рис. П.1).

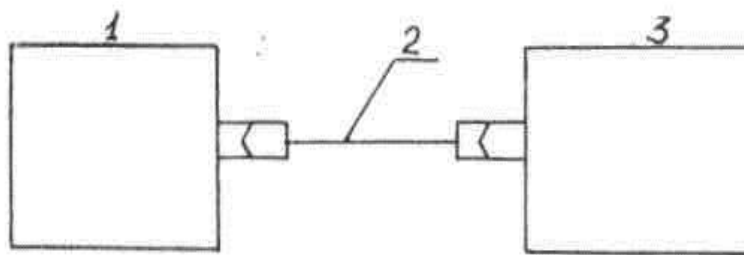


Рис. П.1. Схема вакуумметра ВДГ - 1: 1 - вимірювальний блок вакуумметра ВДГ-1; 2 - джгут; 3 - перетворювач ПМДГ-1

Манометричний перетворювач (рис. П.2) має два газорозрядних проміжки, які утворені двома нерухомими анодами й рухливим катодом, розташованим між ними. Катод за допомогою штоків з'єднаний із гнучкою мембраною. Перетворювач вакууму щільно з'єднується з об'ємом, у якому вимірюється тиск. Залежно від зміни тиску на мембрану катод переміщується між двома анодами, змінюючи газорозрядні проміжки. Протікання струмів певної сили призводить до виникнення коронного розряду в газорозрядних проміжках. Напруга горіння корони (напруга на аноді) у кожному з них залежить від відстані катод-

анод. При постійних струмах через розрядні проміжки перетворювача різниця напруг між анодами залежна від тиску газу на мембрану.

Перетворювач ПМДГ-1 є різновидом так званих механотронних електронних приладів, які перетворюють механічну енергію в електричну.

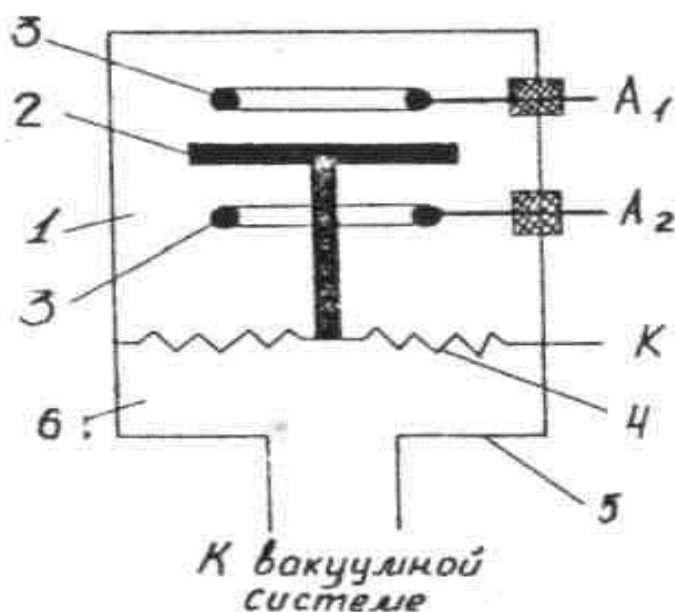


Рис. П.2. Пристрій механотронного манометричного перетворювача типу ПМДГ 1;

1 - розрядна камера; 2 - катод; 3 - аноди; 4 - гнучка мембрана; 5 - корпус;
6 - вакуумна камера.

Лінійність характеристики перетворювача дозволяє експлуатувати його без індивідуальної градуйованої характеристики в діапазоні тисків $10^{-1} \div 30$ мм рт. ст. При вимірі тисків у діапазоні $30 \div 100$ мм рт. ст. варто користуватися градуйованою характеристикою, що дається в паспорті перетворювача.

Вимірювальний блок призначений для живлення перетворювача стабілізованими струмами і перетворення різниці напруг між анодами перетворювача в покази вимірювального приладу.

Конструкція приладу.

Вимірювальний блок конструктивно виконаний як прилад настільного типу. У даній лабораторній роботі він вмонтований безпосередньо в установку, а органи керування вакуумметром виведені на передню панель установки.

На передній панелі вимірювального блоку розташований: тумблер "Мережа-вкл."; лампа "Мережа"; стрілочний індикатор-мікроамперметр М265М; регулюючий резистор "Уст.О"; перемикач "Межі (мм рт. ст.)".

5.Порядок виконання роботи

1. Установити тумблер "Мережа" у положення "Вимкнено".
2. Перемикач "Межі (мм. рт. ст.)" установити в крайнє праве положення - "Вимкн."
3. Відкачати вакуумну систему разом із ПМДГ-1.
4. Ввімкнути тумблер "Мережа",
5. Установити перемикач "Межі" на потрібну межу.
6. Виконати вимірювання.

7. Після закінчення роботи перемикач "Межі" установити в крайнє праве положення "Викл.", потім тумблер "Мережа" установити в нижнє положення, при цьому повинна згаснути сигнальна лампа.

Примітка. При роботі з вакууметром не торкатись ручки "Уст.0".

Установку нуля робить лаборант. Перемикач "Межі" перед початком і після закінчення вимірів повинен бути встановлений у положення "Вимк", інакше при випадковому збільшенні тиску у вакуумній системі понад 100 мм рт. ст. стрілка індикатора буде зашкалювати, і він може зіпсуватися. По цій же причині не можна проводити виміри, якщо немає впевненості в тім, що тиск системи менше 100 мм рт.ст.

Лабораторна робота № 5

ВИВЧЕННЯ МАГНЕТРОННИХ РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ТОНКИХ ПЛІВОК

Мета роботи: ознайомитися з принципом роботи магнетронних розпилювальних систем, їх конструкціями, виміряти основні параметри й вивчити технологію одержання за їх допомогою тонкоплівкових покриттів

Фізичні основи процесу іонно-плазмового напилювання плівок

Іонне розпилення при низьких тисках є одним з найбільш перспективних методів виготовлення мікросхем оскільки воно дозволяє одержувати різноманітні тонкі плівки при малому ступені забруднення. Сутність процесу нанесення тонких плівок полягає в створенні в робочому об'ємі установки газового розряду, подачі від'ємного потенціалу відносно газорозрядної плазми на електрод, що розпилюється, бомбардуванням іонами негативного електрода, а потім в осадженні розпиленого матеріалу на підкладці.

У такий спосіб для нанесення тонких плівок методом іонного напилювання необхідно вирішити два завдання: по-перше, створити інтенсивний потік іонів на електрод, що розпилюється, для одержання високої швидкості розпилення й збільшення продуктивності процесу, а по-друге, зменшити розсіювання матеріалу у робочому газі під час його підльоту до підкладки.

Основні відомості про магнетронні системи

У технології мікроелектронних приладів широко використовуються нові системи іонно-плазмового напилювання - магнетронні розпилювальні системи (МРС) різного типу, що слугує в основному для металізації ІМС. Типова МРС, як правило, містить один або кілька магнетронів, джерело живлення пристрою автоматичної підтримки тиску робочого газу й керування технологічним процесом і т.д.

Метод магнетронного розпилення заснований на використанні схрещених магнітних і електричних полів для підвищення ефективності іонізації робочого газу й створення над поверхнею катода-мішені області щільної плазми. Розроблено три базові конструкції магнетронів (рис. 1). Всі вони – циліндрична, планарна і з кільцевим катодом мають спільні риси. Ці конструкції являють собою двоелектродні розпилювальні системи, тобто містять анод і катод-мішень, виготовлений з матеріалу, що розпилюється, і перебуває під негативним потенціалом. У всіх випадках для формування плазми використовується магнітне поле, лінії якого перпендикулярні до ліній електричного поля, мають значну кривизну й проходять через поверхню катода-мішені. Зона тліючого розряду щільної плазми низького тиску має замкнуту конфігурацію й локалізована над певною ділянкою поверхні катода-мішені, в області дії магнітного поля, де й відбувається активне розпилення матеріалу.

Області розряду в різних системах магнетронів мають неоднакову форму, тому й форми зони ерозії мішені, що являється однією з найважливіших характеристик магнетронів, різні.

Формування області розряду із заданими параметрами пов'язане з конструюванням всіх функціональних вузлів магнетронів, що забезпечує якісні характеристики розпилювальних систем, і зокрема, високі швидкості осадження матеріалу що розпилюється.

Розглянемо принцип роботи МРС із плоскою мішенню (рис. 2). При включенні напруги між катодом і анодом при тиску робочого газу порядку 0.3 Па запалюється тліючий розряд. Іони з розряду, бомбардуючи катод, викликають емісію електронів. Прискорюючись

електричним полем ці електрони підтримують розряд, і, під впливом поперечного магнітного поля, рухаються по складних циклоїдних траєкторіях. При цьому електрони потрапляють ніби у пастку: з одного боку, магнітне поле повертає їх на катод, а з іншого - поверхня катода їх відштовхує. Тривала циркуляція електронів сприяє посиленню процесу іонізації, концентрація іонів у поверхні катода росте. Плазма концентрується в області магнітного поля безпосередньо в мішені. Інтенсивність бомбардування мішені іонами із плазми в такій конструкції і, отже, швидкість розпилення катода й нанесення плівок значно збільшуються.

Рух заряджених часток у плазмі, на якій накладені неоднорідні електричні й магнітні поля досить складний. Він складається зі спрямованого, дифузійного і дрейфового, переміщень, а також циклотронного обертання.

Робота магнетронних систем при відносно малих тисках робочого газу спричиняє переважно спрямований рух електронів і іонів у плазмі. Існуючі в ній області об'ємного заряду, катодного й анодного спадів напруги, характеризуються високими напруженостями полів. Відношення напруженості до тиску є критерієм оцінки виду руху часток у плазмі, перевищує 10^5 В/мПа.

Циклотронне обертання заряджених часток плазми відбувається в площині, перпендикулярній до магнітного поля. Це обертання характеризується циклотронною частотою:

$$\omega = \frac{e \cdot z \cdot B}{m}$$

де e - заряд електрона; z - кратність заряду іона; B - індукція магнітного поля; m - маса частки, а також ларморовським радіусом обертання:

$$r_e = \frac{v_1}{\omega}$$

де v_1 - складова швидкості переміщення частки в напрямку, перпендикулярному до силових ліній магнітного поля.

Дрейф частки в напрямку, перпендикулярному електричному й магнітному полям, характеризується швидкістю:

$$v_d = \frac{E}{B}$$

Якщо не враховувати початкову швидкість зарядженої частки, то в однорідному електричному й магнітному полях траєкторія її руху буде циклоїдою, висота якої дорівнює двом ларморовським радіусам:

$$h_o = \frac{2 \cdot m \cdot E}{e \cdot z \cdot B}$$

У магнетронних пристроях і магнітне, і електричне поле неоднорідні, внаслідок чого в плазмі існують і інші дрейфові рухи.

Енергія, одержувана електроном від електричного поля, витрачається на іонізацію атомів робочого газу й підтримку плазмового розряду. Прискорення електрона полем відбувається в основному в області темного катодного простору шириною a_e , а далі на відстані h_o він попадає в область плазми. Ширина темного катодного простору, мм:

$$\alpha_e = 3,37 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\sqrt{U_e}}{B_e}$$

де U - спад напруги в області темного катодного простору, B ; B_k - індукція магнітного поля в тій же області, Тл.

Електрони, що покинули область темного катодного простору, зіштовхуються з атомами робочого газу й іонізують їх. Втрачаючи свою первісну енергію електрони дифундують до анода. При цьому анод системи повинен бути розташований трохи далі границі області, де електрон в основному губить свою енергію на утворення плазми, область плазми називається умовним анодом, вилучена від поверхні катода на відстань

$$x_0 = \frac{2 \cdot m_e \cdot E \cdot U_p}{W \cdot B^2}$$

де m_e – маса електрона; U_p - напруга розряду; W – енергія, що витрачається електроном на один акт іонізації.

Внаслідок неоднорідності магнітного й електричного полів плазма приймає форму, близьку до тороїдальної, і розташовується безпосередньо біля поверхні мішені. Найбільш щільна плазма - у центральній частині, тому більш інтенсивне розпилення мішені спостерігається саме в цій області. Вибором раціональної геометрії мішені можна створити умови для нанесення рівномірних по товщині покриттів на нерухомі підкладки. Іншими способами одержання рівномірних покриттів є створення декількох зон розпилення, планетарне обертання підкладок і лінійне переміщення підкладок з використанням спеціальних профілюючих екранів.

У планетарних магнетронних системах магніти монтуються у водоохолоджуваних корпусах і не забруднюють зарядну область. Ефект перехоплення розпилених атомів тут практично повністю усунутий. Високі щільності струму на охолоджуваній мішені дозволяють у планетарних системах досягати швидкості розпилення, порівнянних зі швидкостями, одержуваними методами термічного випару. Недоліком є мала площа катода й нерівномірна його ерозія (коефіцієнт використання матеріалу - 25...30%).

Установка для виконання лабораторної роботи.

Технічні дані.

Вакуумна установка УВН-1 (УВН-2) призначена для відпрацювання технології напильовання тонких плівок.

1. Гранично допустиме розрідження в робочій камері з використанням азотної пастки - 10^{-6} мм.рт.ст.
2. Швидкість відкачки робочого обсягу при тиску $2 \cdot 10^{-5}$ - $1 \cdot 10^{-5}$ мм.рт.ст. - 700 л/сек.
3. Живлення установки здійснюється 3-х фазним струмом від 4-х провідної лінії (з нульовим проводом) частотою 50 Гц, напругою 380 В.
4. Електрична потужність, споживана установкою при сталому режимі, не більше 7,2 кВт.
5. Мінімальна витрата холодної води - 400 л/година.
6. Габаритні розміри:
7. довжина x ширина x висота, мм - 1550x1050x1950;
8. підйом ковпака - 650 мм.
9. Вага установки - 700 кг.

Установка (рис. 4) складається з металевого корпусу 1, що має знімні бічні, передні й задні щити. На передній панелі перебуває рукоятка керування вакуумним затвором 2 і органи управління гідроприводу 3 і 4 і підйому ковпака 5.

Вакуумний ковпак 5 виконаний з нержавіючої сталі, має два оглядових вікна 150 мм у діаметрі. Підйом і опускання ковпака здійснюється гідроприводом 6.

Вакуумна система складається з обертального насоса ВН-6-2Н (7), паромасляного високовакуумного насоса Н-2Т (8), клапанної коробки для перемикання механічного насоса, високовакуумного насоса, системи натікачів 9, 10 для напуску повітря й інших газів у ковпак, трубопроводів і охолоджуваної пастки.

Рукоятки клапанної коробки 11, 12 виведені на середню стійку каркаса. При витягуванні верхньої рукоятки 11 механічний насос відкачує робочий обсяг ковпака, при витягуванні нижньої рукоятки 12 відкачується порожнина паромасляного насоса.

Вентиль-натікач (голчастий 9), укріплений на ковпаку, дозволяє підтримувати заданий ступінь вакууму в діапазоні 10^{-1} - 10^{-5} мм.рт.ст. Натікач (грубий) 10 призначений для напуску атмосфери під ковпак. Електромагнітний вентиль-натікач відкриває напуск атмосфери в трубопроводі обертального вакуумного насоса й може використатися для напуску повітря у високовакуумний насос при висунутій рукоятці 12.

Вимір вакууму в підковпаковій частині здійснюється за допомогою приладу ВІТ-2 (14). На лівій стійці закріплені органи керування вакуумною установкою 15. У підковпаковій частині також перебуває підложкотримач і карусель 12, органи керування якої перебувають унизу стійки керування 17. У середині стійки керування розташований блок живлення 18 для магнетрона 19. В установці використовується магнетрон 19 із прямокутним катодом-мішенню. Магнетрон 19 закріплений вертикально - на стінці ковпака 5.

На рис. 5 показано поперечний переріз магнетрона.

На рис. 6 наведена схема вакуумної системи установки.

Блок живлення.

Блок живлення складається з 3-х частин: катодного вузла живлення, вузла живлення анода й системи підпалу.

Катодний вузол працює в такий спосіб: за допомогою системи керування СУ й семістора VS1 відбувається плавне регулювання струму в первинній обмотці трансформатора Тр1. Згладжування пульсацій здійснюється за допомогою RC - ланцюга (R3C3 і R4C4) і дроселя Др1. Вихідна напруга - 400...1000 В при струмі 2...10 А.

Анодний вузол створює напруга зсуву на аноді (50...100 В) щодо корпусу установки.

Система підпалу призначена для запалювання розряду магнетрона. Вона складається з підвищувального трансформатора Тр3, діодного випрямляча й RC-ланцюга фільтра С6-Р8. Вихідна напруга системи підпалу 1,5 кВ. Діод VD призначений для розв'язки катодного вузла живлення й системи підпалу.

Програма роботи.

1. Ознайомитися з описом установки типу УВН, що складається з вакуумного блоку, блоку живлення й керування, газоманетронного пристрою.

2. Підняти ковпак робочої камери й установити попередньо зачищені підкладки в підкладкотримач. Опустити ковпак.

3. Включити установку відповідно до інструкції. Опустити робочу камеру до заданого лаборантом тиску й установити в камері заданий тиск робочого газу за допомогою натікача.

4. Включити магнетрон. Установити заданий струм магнетрона (у межах 0,2...10 А) і зробити напилювання плівки. Розрахувати й виміряти її товщину. Виміряти ВАХ магнетрона.

Записати в протоколі результати спостережень і розрахунків і зробити висновки по роботі.

Вимоги до звіту:

Звіт має містити:

- a) завдання по роботі;
- b) ескіз електродної системи газомagnetрона і схему його включення;
- c) таблиці результатів дослідів та графіки, опис результатів спостережень;
- d) висновки по отриманим результатам.

Контрольні питання

- 1. Фізична сутність іонного (катодного) розпилення.
- 2. Принцип дії магнетронних розпилювальних систем.
- 3. Різновиди конструкцій магнетронних систем і катодних вузлів.
- 4. Як орієнтовані електричні й магнітні поля в магнетроні? Траєкторії руху електронів у цих полях.
- 5. Основні параметри магнетронних систем.
- 6. Пристрій вакуумної напилювальної установки. Основні елементи й вузли.
- 7. Вакуумна система установки. Засоби відкачки.
- 8. Особливості електричного живлення магнетрона.
- 9. Який вид електричного розряду використовується в магнетроні?
- 10. Переваги й недоліки магнетронного напилювання плівок.
- 11. Які види плівок одержують за допомогою магнетронної системи?

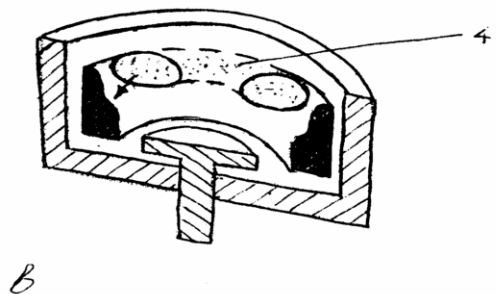
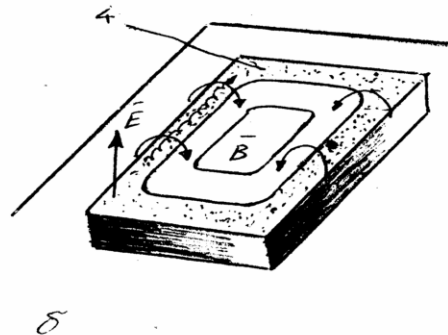
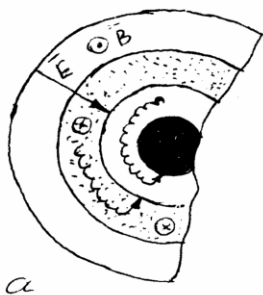
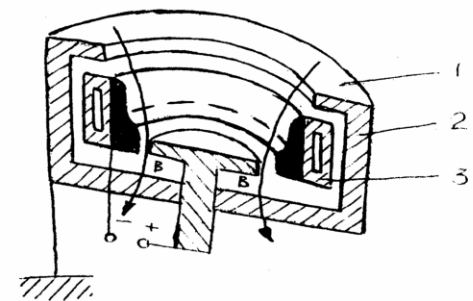
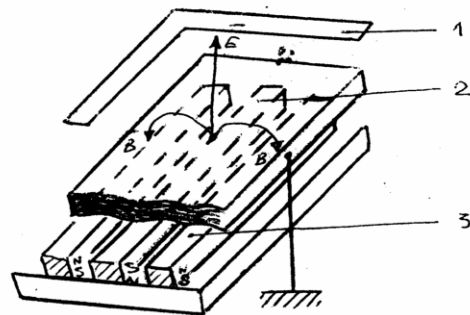
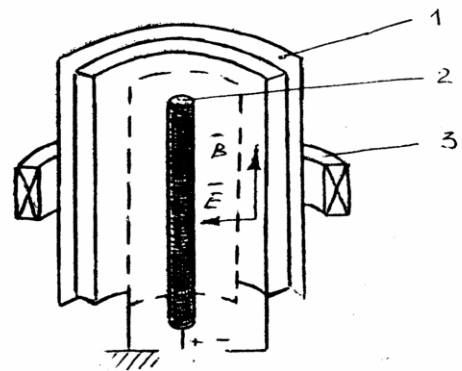


Рис. 1 Схема базових конструкцій магнетронів:

- а - із циліндричним катодом;
- б - із плоским катодом (планарна);
- в - з кільцевим катодом S-типу;
- 1 - анод; 2 - катод-мішень;
- 3 - магнітна система; 4 - зона розряду.

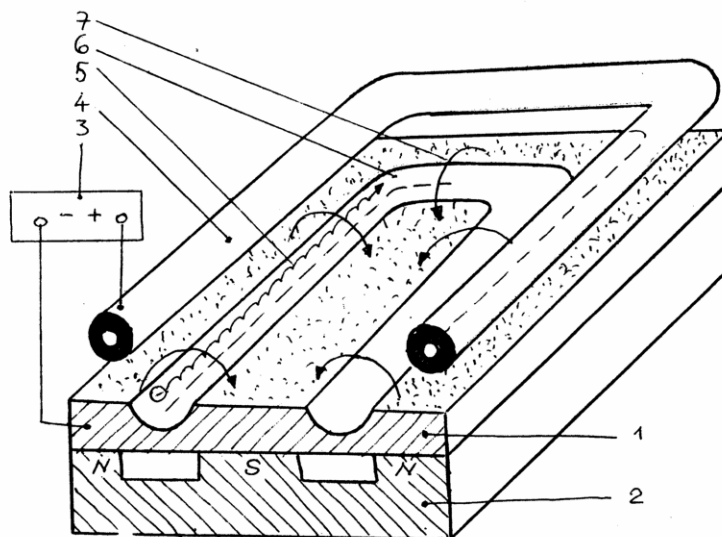


Рис. 2 Схема магнетронної системи розпилення із плоскою мішенню: 1 - мішень-катод; 2 - система постійних магнітів; 3 - джерело живлення; 4 - анод; 5 - траєкторія руху електронів; 6 - зона інтенсивного розпилення; 7 - силові лінії магнітного поля.

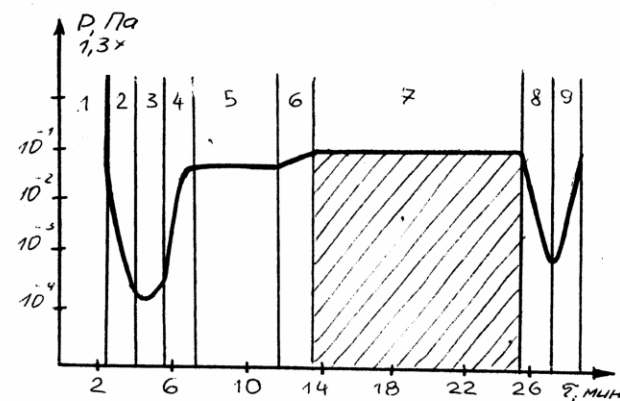


Рис. 3 Графік тимчасового циклу технологічного процесу формування металізації зі сплаву Al-Si товщиною 1 мкм на установці магнетронного розпилення: 1 - попередня відкачка; 2 - високовакумна відкачка; 3 - переміщення підкладок через шлюз; 4 - напуск аргону; 5 - іонне очищення; 6 - вихід на режим розпилення; 7 - розпилення; 8 - переміщення підкладок; 9 - закінчення циклу.

Таблиця 2

Характеристики систем для розпилення

Вид системи для розпилення	Робочий тиск, Па	Робоча напруга, кВ	Сила іонного струму, А	Потужність, що підводиться до системи, кВт	Коефіцієнт перетворювання потужності	Енергетична ефективність (по міді), 10 ⁻⁹ кг/Дж		Енергія іонів, що бомбардують, кеВ
						процесу розпилення	Системи що розпилює	
діодна на постійному струмі	1,3...13	3...5	0,5...0,8	2...5	0,5...0,6	0,9...1,4	0,5...0,7	2...3,5
діодна ВЧ	0,6...6,6	1...2 (амплітуда)	1...2	3...5	0,3...0,6	1,6...2,5	0,5...1	0,7...1,5
тріодна	(0,6...6,6) x 10 ⁻¹	1...2	3...5	10...15	0,3...0,7	1,4...2,1	0,6...1	1...2
тріодна з локалізацією плазми магнітним полем	(1,3...13)x10 ⁻²	1...2	10...15	35...40	0,3...0,7	1,4...2,1	0,6...1	1...2
з автономним іонним джерелом	(0,6...6,6) x 10 ⁻¹ у джерелі (1,3...13)x10 ⁻²	1...3	0,2...0",5	8...10	0,03...0,15	1...2,1	0,06...0,15	1...3
магнетронна ВЧ	(1,3...6,6) x 10 ⁻¹	0,7...1 (амплітуда)	2...4	3...5	0,3...0,6	2,5...3	0,9...1,5	0,5...0,7
магнетронна на постійному струмі	(1,3...6,6) x 10 ⁻¹	0,4...0,8	15...20	8...15	0,6...0,7	3...3,8	2,1...2,3	0,3...0,5

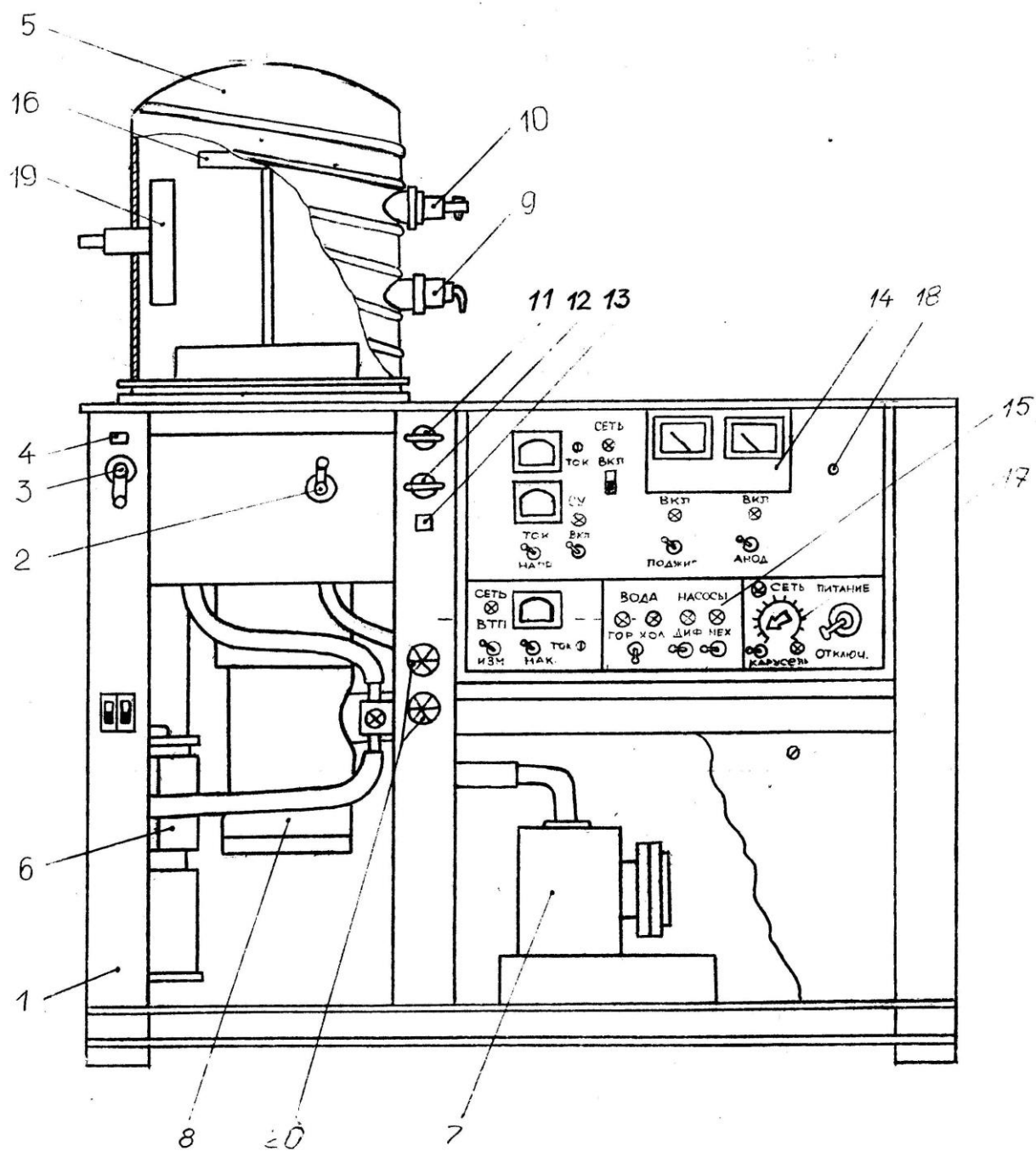


Рис. 4 Зовнішній вигляд агрегату

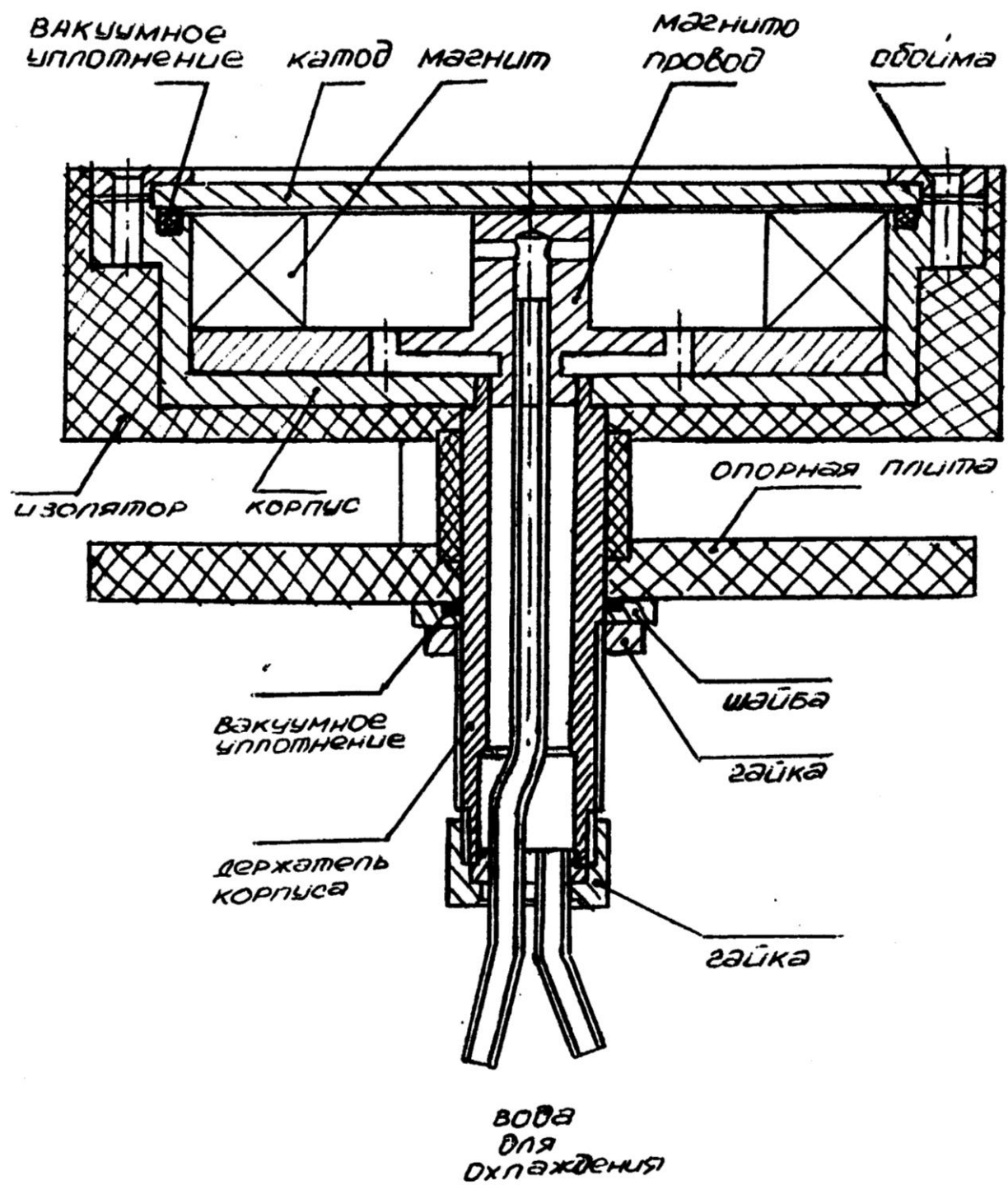


Рис. 5 Магнетронна система розпилення

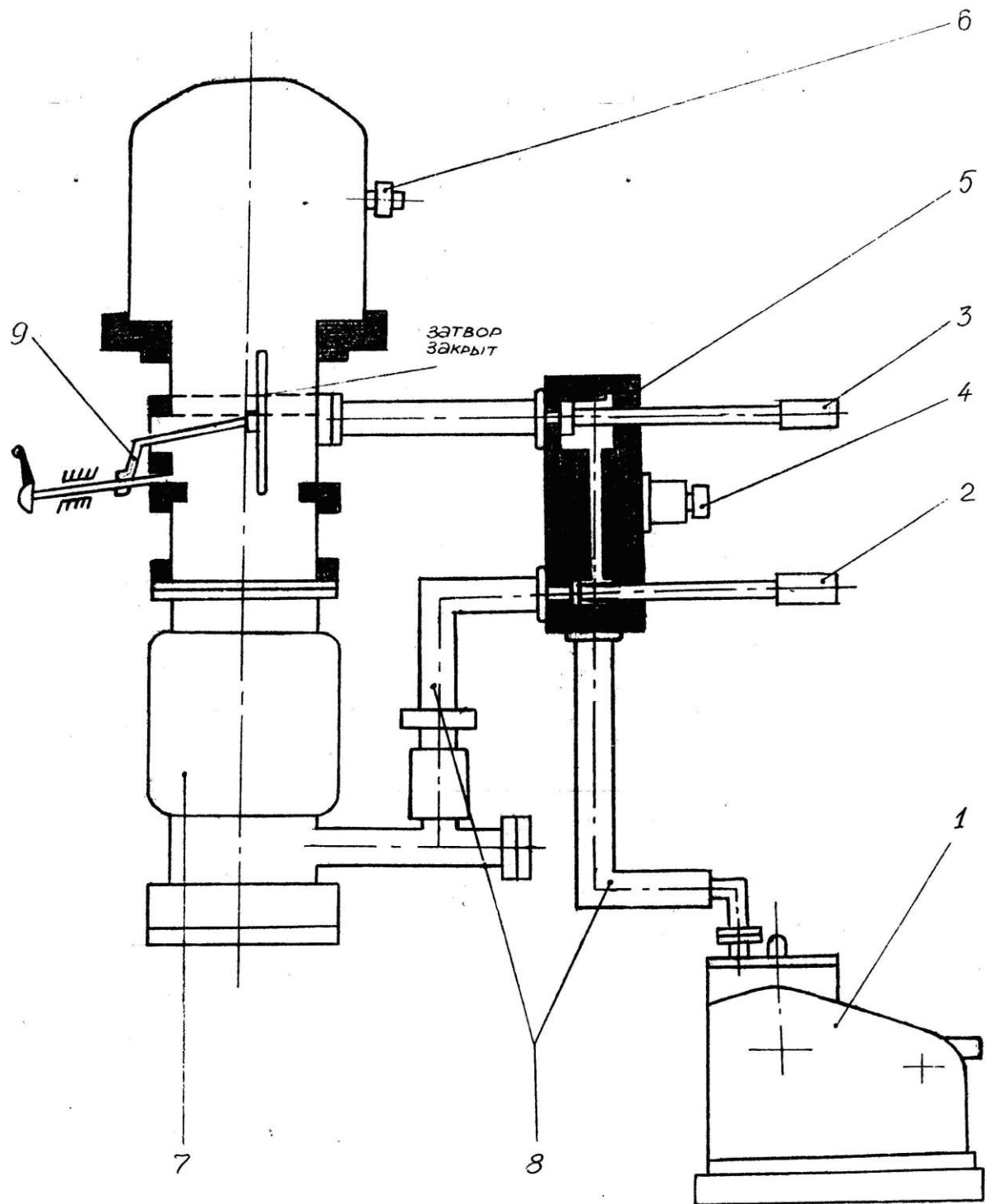


Рис. 6 Вакуумна система

1 - механічний насос НВР-5Д, 2 - рукоятка нижнього клапану, 3 - рукоятка верхнього клапану, 4 - електромагнітний натікач, 5 - клапанна коробка, 6 - натікач для швидкого напуску повітря, 7 - дифузійний паромасляний насос, 8 - трубопроводи, 9-затвор.

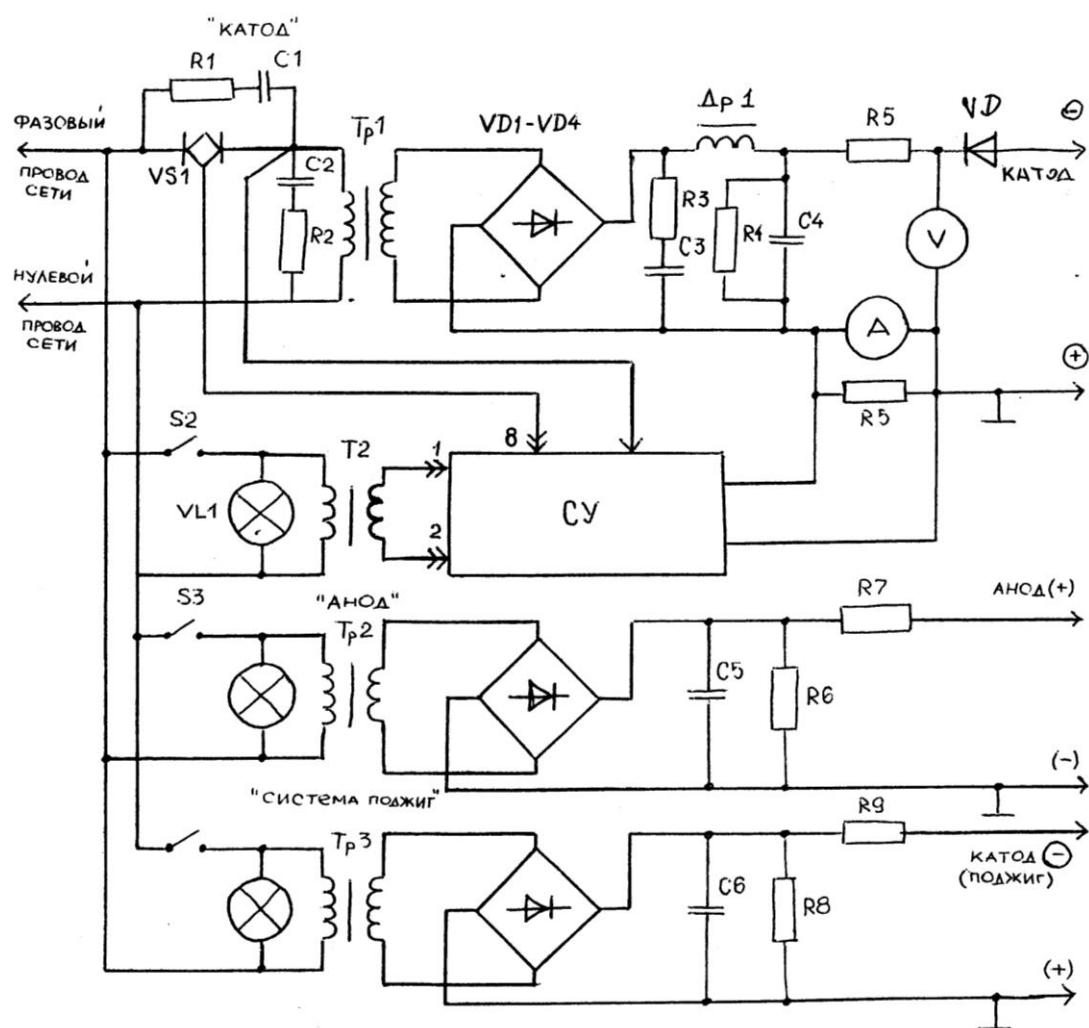


Рис. 7 Схема блока живления